

**GENERACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA PARA LA
ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN
MASA E INUNDACIONES EN UN CONTEXTO URBANO**

EVLIN MIREYA LOPEZ BOTERO

DIRIGIDO POR JHON JAIRO BARONA MENDOZA, PhD

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMATICA

INGENIERIA TOPOGRAFICA

2018

**GENERACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA PARA LA
ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN
MASA E INUNDACIONES EN UN CONTEXTO URBANO**

EVLIN MIREYA LOPEZ BOTERO

Trabajo de Grado para obtener el título de pregrado

DIRIGIDO POR JHON JAIRO BARONA MENDOZA, PhD

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMATICA

INGENIERIA TOPOGRAFICA

2018

AGRADECIMIENTO

Este logro fue posible al apoyo y colaboración de un grupo de personas que aportaron su conocimiento, experiencia, aliento y paciencia en la culminación de mí carrera universitaria. A Dios en primer lugar, Padres, hermanos, sobrinas, cuñada, profesores, pero sobre todo a dos personas, Jhon Jairo y Lina quienes me motivaron y me dieron la oportunidad de alcanzar lo que veía imposible de lograr. A ellos desde el fondo de mi corazón les doy mi gratitud total y que Dios en su infinita misericordia los bendiga, multiplique y guie por siempre.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	9
1. INTRODUCCION	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. Generales	14
2.2. Específicos	14
3. JUSTIFICACION	14
4. ÁREA DE ESTUDIO	16
4.1. Municipio de Versalles.....	17
4.2. Municipio de Roldanillo.....	18
4.3. Municipio de Bolívar	18
5. CONCEPTOS GENERALES	19
5.1. Gestión del riesgo	19
5.2. Sistemas y Marcos de Referencia	21
5.3. Levantamiento topográfico con estación total	28
5.4. Topo batimetría	34
6 METODOLOGÍA	36
6.1 Análisis de metodologías de zonificación de amenazas por Movimientos en masas, Inundaciones y Avenidas Torrenciales	37

6.1.1	Análisis de riesgos.....	38
6.1.2	Evaluación de riesgos	39
6.2	Definición de productos de información geomática primaria	40
6.3	Análisis de estándares de calidad de cada producto	42
6.3.1	Cartografía básica digital	42
6.3.2	Construcción de modelos digitales del terreno.....	45
6.4	Diseño de Procedimientos	54
6.4.1	Construcción redes de control GNSS	55
6.4.2	Muestreo	56
6.4.3	Topografía Convencional	57
6.5	Trabajo de Campo.....	59
7	RESULTADOS DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	60
7.1	Amarre a la red Geodésica Nacional	60
7.2	Evaluación de calidad de un Modelo de elevación del terreno	61
7.3	Batimetría	68
7.4	Levantamientos Topográficos Movimientos en masas.....	74
8	CONCLUSIONES.....	76
9	BIBLIOGRAFÍA	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Nivelación Trigonométrica, Situaciones	29
Figura 2 Tipos de Poligonal	30
Figura 3 Levantamiento Batimétrico.....	34
Figura 4 Esquema Batimetría de río por Ecosonda	35
Figura 5 Esquema metodológico.....	37
Figura 6. Muestreo aleatorio simple.	50
Figura 7. Muestreo aleatorio estratificado.	51
<i>Figura 8. Muestreo sistemático.....</i>	<i>51</i>
Figura 9. Muestreo anidado	52
Figura 10 Materialización Puntos de Control	55
Figura 11 Georreferenciación Puntos de Control	56
Figura 12 Diseño de la red de amarre a MAGNA Municipio de Roldanillo	60
Figura 13 Muestra de datos para Validación DTM Versalles	61
Figura 14 Muestra de datos para Validación DTM Roldanillo.	62
Figura 15 Muestra de datos para Validación DTM Bolívar	62
Figura 16 Distribución Normal del Error Roldanillo	65
Figura 17 Distribución Normal del Error Versalles	66

Figura 18 Distribución Normal del Error Bolívar	66
Figura 19 Topo batimetría Rio Roldanillo	68
Figura 20 Topo batimetría Zanjón de los Mudos	68
Figura 21 Topo batimetría Quebrada El Rey	69
Figura 22 Topo batimetría Zanjón de la Mina	69
Figura 23 Topo batimetría Rio Pescador	69
Figura 24 Perfiles Longitudinales Cauces Municipio Roldanillo	70
Figura 25 Perfiles Longitudinales Cauces Municipio Bolívar.....	71
Figura 26 Generación de DTM y Producción de Batimetría Roldanillo	72
Figura 27 Generación de DTM y Producción de Batimetría Bolívar	73
Figura 28 Subsistencia Municipio de Versalles	75
Figura 29 Deslizamiento Municipio de Versalles	75

INDICE DE TABLA

Tabla 1 Resolución espacial expresada en GSD	42
Tabla 2 Sistema de coordenadas geográficas MAGNA	43
Tabla 3 Orígenes de coordenadas GAUSS KRUGER	43
Tabla 4 Exactitud absoluta de posición por escalas	44
Tabla 5 Nivel de Tolerancia por Escala	44
Tabla 6 Precisión según el Terreno	46
Tabla 7 Numero recomendado de puntos chequeo basados en el área..	53
Tabla 8 Estadísticos para determinar distribución normal de datos.....	65

GLOSARIO

Altimetría. Parte de la Topografía que comprende los métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o cota de cada uno de los puntos respecto a un plano de referencia. Con ella se consigue representar el relieve del terreno.

Altitud Geodésica. Distancia del punto considerado al elipsoide.

Altitud Orto métrica. Distancia entre un punto en el terreno con respecto al geoide, medida a lo largo de la vertical del lugar. Generalmente se denomina elevación.

Altura Elipsoidal. Distancia vertical por sobre un elipsoide de referencia para un punto específico. Los receptores GPS calculan las alturas elipsoidales sobre el elipsoide de referencia WGS84.

Cartografía. Representación del terreno sobre un plano. Conjunto de técnicas para la elaboración de mapas o planos realizados a través de datos topográficos, geodésicos y fotogramétricos.

Constelación De Satélites. Conjunto específico de satélites usados para calcular posiciones para 2D y 3D.

Coordenadas Cartesianas Geocéntricas. Son las definidas en base a una terna ordenada de ejes ortogonales, siguiendo el origen y orientación a los ejes dados por el sistema de referencia terrestre internacional.

Coordenadas Cartesianas. Valores que representan la ubicación de un punto en un plano, en relación con tres ejes de coordenadas

mutuamente perpendiculares, las cuales intersectan un punto u origen en común. El punto se localiza al medir su distancia desde cada eje a lo largo de un paralelo.

Coordenadas Geodésicas. Sistema de coordenadas donde la posición de un punto se define usando los elementos latitud, longitud y altura geodésica.

Coordenadas Planas. Son las que resultan de proyectar la superficie del elipsoide sobre un plano.

Efemérides. Lista de posiciones o ubicaciones de un objeto celestial como una función de tiempo. Disponible como “efemérides transmitidas” o como “efemérides precisas” post procesadas.

Error Medio Cuadrático (RMS). Medida estadística de la dispersión de posiciones calculadas acerca de una solución de posición de un “mejor ajuste”. Se puede aplicar el RMS a cualquier variable casual.

Escala de Mapa. La reducción necesaria para desplegar una representación de la superficie de la tierra en un mapa. Convención 1: x que significa, que una unidad de distancia en el mapa representa x unidades de distancia en el mundo real

Escala. Relación que existe entre la medida de un segmento sobre el papel y la medida de su homólogo en la realidad. $\text{Escala} = \text{Plano} / \text{Terreno} = 1/D$ (Denominador de la Escala).

Fase del Portador. La fase del portador L1 o L2 de una señal GPS, es medida por un receptor mientras enlaza la señal (también conocido como Doppler integrado).

Geoide. Superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre (perpendicular a la dirección de la gravedad en todos sus puntos), que coincide con el nivel medio del mar sin perturbaciones y que se extiende de manera continua por debajo de los continentes.

Geo-referenciación. Acción o acto de asignar un código, clave, o un número, a algún elemento espacial, con base a un sistema de coordenadas geográficas que permiten su localización física en forma permanente.

Modelo digital del terreno (MDT). Representación cuantitativa en formato digital de la superficie terrestre, contiene información acerca de la posición (x, y) y la altitud Z de los elementos de la superficie.

Observable. En medición GPS es el nombre general dado a los datos crudos que están siendo colectados por el receptor. En general reciben este nombre todas las magnitudes susceptibles de ser observadas o medidas.

Parámetros De Transformación. Conjunto de cantidades que permiten transformar coordenadas dadas en un marco de referencia a otro: se utilizan básicamente tres traslaciones, a las que pueden agregarse tres rotaciones y un factor de escala.

Proyección cartográfica. Cualquier método sistemático de representar la totalidad o parte de la superficie curva de la tierra bajo otra superficie, usualmente plana.

Sistema de Coordenadas. Marco de referencia espacial que permite la definición de localizaciones mediante coordenadas.

Sistema de Referencia. Un sistema de referencia es un conjunto de coordenadas espacio-tiempo que se requiere para poder determinar la posición de un punto en el espacio.

Georreferenciar. Asignar coordenadas geográficas a un objeto o estructura, el concepto aplicado a una imagen digital implica un conjunto de operaciones geométricas que permiten asignar a cada pixel de la imagen un par de coordenadas (x, y) en un sistema de proyección

1. INTRODUCCION

Generar la información primaria para estudios de zonificación por movimientos en masa e Inundación, necesita del conocimiento de las metodologías empleadas para dichas actividades, con el fin de identificar los requerimientos de los diferentes componentes temáticos involucrados, y dar como resultado un listado de productos y especificaciones técnicas para determinar el diseño de la metodología que se debe emplear para la adquisición, procesamiento, verificación y entrega de la información. El Diseño involucra procesos como validación de información adquirida, captura de datos con diferente tipo de tecnología, topografía convencional o GPS, chequeo de precisión, edición y generación de la información.

Este proyecto está orientado a dar soporte técnico a los procesos de recolección de información primaria en los levantamientos de información topográfica, cartografía base e insumos de topografía y geodesia para dar apoyo a los grupos multidisciplinarios que participan de la zonificación de amenazas por movimientos en masa e inundaciones en un contexto urbano.

La aplicación real de los resultados de este proyecto se dará en el contexto del convenio 0205 de 2017 entre la CVC y La Universidad del Valle para los municipios de Roldanillo, Versalles y Bolívar.

Los resultados finales fueron de aplicación real en un contexto profesional para el proyecto citado, obteniendo muy buenos resultados finales en el mismo.

2. OBJETIVOS

2.1. Generales

Diseñar y aplicar las metodologías de captura de datos en campo para la generación de insumos en el proceso de zonificación de amenazas por movimientos en masa e inundaciones en un contexto urbano

2.2. Específicos

- Caracterizar los tipos de información primaria requerida en este tipo de estudios generada desde la Ingeniería topográfica.
- Construir los procesos de adquisición de información acorde con los requerimientos de cada componente temática del proyecto

3. JUSTIFICACION

En el proceso de ordenamiento territorial, el conocimiento de las amenazas es de vital importancia para el análisis del medio natural, puesto que un alto grado de amenaza por un determinado fenómeno puede culminar fácilmente en un desastre, esto trae consigo pérdidas económicas, que ocasionan deterioro de la infraestructura, enfermedades, desastres y pérdida de vidas humanas.

Atendiendo estas consideraciones, el gobierno nacional ha determinado que es prioritario para los municipios y distritos considerar la ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS Y RIESGOS como un elemento estructurante

para la determinación del MODELO DE OCUPACION en sus Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Para esto, se han delegado a diferentes entidades nacionales con competencias en el tema y dentro del marco legal, la Ley 388 de 1997 plantea que es necesario determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para la localización de asentamientos humanos, por amenazas naturales. Las afectaciones más recurrentes se presentan por la ocurrencia de movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, por lo que se priorizará el análisis de estos fenómenos, los demás se adelantarán en consideración a la disponibilidad de información. En este orden de ideas, es necesario establecer condiciones técnicas mínimas, que permitan el desarrollo gradual del tema.

Los municipios expuestos a amenazas por otros fenómenos naturales, o de origen tecnológico, deben ser evaluados con base en la información disponible y donde no la hubiere, se requiere su construcción. Dentro de la caracterización de estos estudios, se plantean por parte de la reglamentación dos tipos de estudio, los básicos y los detallados. Los estudios básicos corresponden a estudios a escala 1:5000 como máximo detalle, mientras que los detallados requieren de escala a 1:2000. También se hace diferenciación del contexto urbano y rural para este tipo de estudios del territorio, tal como se plantea de forma más detallada en el decreto 1807 del 2014.

Dado que el desarrollo de los trabajos contempla la realización de las diferentes actividades como levantamientos topográficos, levantamientos geológicos, zonificación geomorfológica, análisis de información climática, hidrológica e hidráulica, análisis de antecedentes, e identificación de procesos, con base en lo cual se llevará a cabo la evaluación de amenazas, evaluación de vulnerabilidad y evaluación del riesgo, es necesario contar

con una correcta integración de las diferentes capas de información, para esto es de vital importancia que se cuente con información primaria y secundaria completamente compatible en cuanto a precisión, actualidad, coherencia lógica y topológica.

Si bien existen al menos dos guías a nivel nacional (IDEAM-CVC- servicio Geológico Nacional) para el desarrollo de estos proyectos, Gran cantidad de estudios de este tipo, presentan problemas por incompatibilidades de la información que se debe integrar, por lo tanto se hace necesario efectuar un análisis de los diferentes insumos en cuanto a su calidad cartográfica y necesidades de estructuración, con el fin de establecer los procedimientos más adecuados de captura en campo, identificando metodologías, precisiones, modo y densidad de muestreo, calidad posicional y tipos de formato de entrega de estos insumos determinando a partir de su naturaleza ráster, vectorial o puntual, la mejor forma de levantar, procesar y entregar estos insumos al grupo de trabajo para la zonificación.

La caracterización de procesos es una forma de conocer en un proyecto lo que se quiere, como se quiere y quien lo quiere, información de gran valía para el diseño de la metodología en la adquisición de la información primaria, que servirá de base para la generación de insumos que cumplen con las especificaciones y requerimiento de quienes van a ser uso de ella, ahorrando tiempo y costos en ejecución del proyecto.

4. ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra en los perímetros urbanos de Versalles, Roldanillo y Bolívar, los trabajos se encuentran enmarcados en el estudio de zonificación de riesgos y amenazas por fenómenos de movimientos en

masa, inundaciones y avenidas torrenciales para los municipios de Versalles, Roldanillo y Bolívar, todos pertenecientes al departamento del Valle del Cauca, dentro del convenio interinstitucional 0205 de 2017 celebrado entre la Universidad del Valle y la CVC.

4.1. Municipio de Versalles

El Municipio de Versalles está ubicado al Norte de Departamento del Valle del Cauca, entre los municipios de: El Dovio, La Unión, Toro, Argelia y el Cairo. Está ubicado en una vertiente de la cordillera Occidental y sus límites son: al norte con los municipios de El Cairo y Argelia; al sur con el municipio de El Dovio; al occidente con el Departamento del Chocó; y al oriente con los municipios de Toro y La Unión. Su altitud es de 1.860 msnm y tiene una temperatura promedio de 18 °C. Según el último censo, efectuado por el DANE, la población está alrededor de 8.500 habitantes. El territorio está conformado por siete sistemas hidrográficos: que tributan sus aguas a los ríos Garrapatas, éste al Sipí y al Atrato y por consiguiente al Océano Pacífico. El aprovechamiento de estas aguas se utiliza en: actividades agropecuarias, domesticas, agroindustriales y otros usos. El territorio es montañoso y su relieve corresponde a la Cordillera Occidental de los Andes. Entre los accidentes orográficos se destacan la serranía de Los Paraguas. Partícipe de tierras bajas, onduladas, moderadamente frías y húmedas, por consiguiente, cuenta con una gran diversidad de medios naturales.

Versalles sobresale por los cultivos de café, caña panelera, plátano, frijol, maíz, yuca y toda clase de frutales y legumbres. Existen yacimientos de oro, plata, platino y otros minerales. (Alcaldia-Versalles, 2018)

4.2. Municipio de Roldanillo

Es un municipio de Colombia desde 1892, se encuentra al norte del valle del cauca y a 149 km de Cali, este es un municipio de arquitectura colonial ya que posee construcciones como la ermita, la capilla de Santa Rita y además el museo rayo, que el diseño está basado en la arquitectura maya, además este museo solo presenta las obras de su fundador y otros artistas latinoamericanos.

Poseen cultivos de maíz, café y azúcar, que representa el 65% de sus ingresos y una muy buena infraestructura hotelera desarrollada a partir de las actividades de parapente.

Presenta un relieve quebrado a escarpado, contiene cenizas volcánicas depositadas sobre arcillas, provenientes de la alteración de la diabasa. En general son suelos profundos, bien drenados, y moderadamente erosionados. (Alcaldia-Roldanillo, 2018)

4.3. Municipio de Bolívar

Bolívar es uno de los municipios más antiguos del Valle y la población propiamente dicha, es la más antigua del territorio vallecaucano, seguida de Jamundí, Cali, Vijes y Yumbo, es municipio desde 1884 cuando pertenecía al Cauca. Limita por el norte con El Dovio y Roldanillo; por el oriente con Zarzal y Bugalagrande; por el sur con Trujillo y por el occidente con el departamento del Chocó.

La mayor parte del territorio es montañoso y su relieve corresponde a la Cordillera Occidental de los Andes, destacándose los siguientes accidentes

orográficos: La Cuchilla de El Padre, Altos de Las Amarillas, Lombricero, Picacho y San Fernando.

Sus tierras están distribuidas en el piso térmico cálido 144 km².; medio 408 km². y frío 50 km², con una altura promedio de 978 m sobre el nivel del mar. Sus tierras están regadas por numerosas corrientes, entre ellas los ríos Azul, Cajamarquita, Cajones, Cauca, Claro, Dovio, Garrapatas y Pescador; las quebradas Mesetas, Lindo, Naranjito, Platanares, San Antonio y Sanguinini. Cerca del río Cauca se encuentra la Ciénaga de Santa Ana.

Como todos los municipios de esta región, su principal fuente de riqueza es la agricultura destacándose el cultivo del café, la caña panelera, maíz, algodón, yuca, plátano, cacao cultivos de uva y explotación forestal. Cuenta con los servicios de acueducto, alcantarillado, energía, bancos, biblioteca, estadio, hospital, teatro, correo y teléfonos. Dista de Cali 136 km, se comunica por carretera con Roldanillo, Río Frío, Trujillo, Bugalagrande y Zarzal. (Alcaldía-Bolívar, 2018)

5. CONCEPTOS GENERALES

5.1. Gestión del riesgo

Según Ley 1523 de 2012, la gestión del riesgo es un proceso social que enmarca tres componentes principales: el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres, cuyo fin es contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

El análisis de riesgo es la primera etapa en gestión de riesgos y esta se divide en tres etapas:

Análisis de Amenaza. Esta etapa comprende tres fases principales: definir un modelo geológico-geotécnico, plantear escenarios de amenaza y zonificar la amenaza. Como resultado de estas fases y de la etapa de análisis en sí misma, se obtienen los mapas de amenaza. (SGC, 2016)

Análisis De Vulnerabilidad. Comprende dos etapas fundamentales: la identificación de escenarios de vulnerabilidad y la zonificación de la vulnerabilidad. Los escenarios de vulnerabilidad se construyen con base en los escenarios de amenaza y consisten en la identificación de los tipos de daños esperados, considerando variables de entrada los elementos expuestos (bienes físicos y personas) y la fragilidad de tales elementos ante el tipo de amenaza definida en el escenario que se evalúa. Una vez que se tienen los escenarios se procede a realizar la zonificación de vulnerabilidad, mediante la construcción de mapas en los que se identifiquen las zonas de vulnerabilidad alta, media y baja. (SGC, 2016)

Cálculo Del Riesgo. El riesgo se evalúa para cada uno de los elementos expuestos como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad y el valor o número de elementos. Este cálculo se presenta como un valor total de pérdidas probables por año en el caso de bienes físicos, y como un número probable de personas afectadas (muertas o heridas) por año. (SGC, 2016)

Evaluación Del Riesgo. Define los criterios de seguridad, aceptabilidad y tolerancia del riesgo, además de la zonificación del riesgo en mapas, para definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo. (SGC, 2016)

5.2. Sistemas y Marcos de Referencia

Un sistema de referencia es el conjunto de conceptos teóricos adecuadamente modelados que permiten definir, la orientación, ubicación y escala de tres ejes coordenados (X, Y, Z). Como un sistema de referencia es un modelo éste es materializado mediante puntos reales cuyas coordenadas son determinadas sobre el sistema de referencia dado, este conjunto de puntos se denomina marco de referencia. Si el origen de coordenadas del sistema ($X=0, Y=0, Z=0$) es el centro de masas terrestre se define como un Sistema Geocéntrico de Referencia o Sistema Coordinado Geocéntrico, si dicho origen está desplazado del geocentro, se conoce como Sistema Geodésico Local

Las posiciones (X, Y, Z) se expresan en coordenadas curvilíneas latitud (φ) y longitud (λ), las cuales requieren de la introducción de un elipsoide de referencia. El origen de coordenadas ($X=0, Y=0, Z=0$) coincide con el centro geométrico del elipsoide, el eje Z con el eje menor del elipsoide, el eje X con la intersección del plano ecuatorial y del meridiano de referencia del elipsoide y el eje Y forma un sistema coordinado de mano derecha. La orientación y ubicación del elipsoide asociado a un sistema coordinado (X, Y, Z) se conoce como Datum Geodésico; si este es geocéntrico se tiene un Datum Geodésico Geocéntrico o Global, si es local se tendrá un Datum Geodésico Local. Estos últimos se conocen también como Datum Horizontales ya que sus coordenadas (φ, λ) se definen independientemente de la altura (H). Mientras que la latitud (φ) y la longitud (λ) se refieren al elipsoide, la altura (H) se define sobre una superficie de referencia (el nivel medio del mar) que no tiene relación alguna con el elipsoide. Los datum geocéntricos, por el contrario, son tridimensionales, éstos permiten definir

las tres coordenadas de un punto con respecto a la misma superficie de referencia (el elipsoide), en este caso la tercera coordenada se conoce como altura geodésica o elipsoidal (h). (IGAC, 2004)

Sistema Internacional de Referencia ITRS (International Terrestrial Reference System), es establecido y mantenido por el IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service). Este se define con origen en el centro y masa terrestre, el eje X está orientado al Meridiano de Greenwich Convencional determinado por la IERS y llamado Reference Meridian (IRM) o Greenwich Mean Origin (GMO), el eje Z está orientado al polo definido por el Conventional International Origin (CIO) y el Y es perpendicular a estos dos sistemas. La escala está definida en un marco geocéntrico y la orientación esta forzada a no tener residuales en la rotación global con respecto a la corteza terrestre. (IGAC, 2004)

Marco de Internacional Referencia Terrestre ITRF (International Terrestrial Reference Frame), es el marco de referencia del ITRS, el cual está formado por las coordenadas cartesianas geométricas (X, Y, Z) y Las velocidades (V_x, V_y, V_z), de un conjunto de estaciones observadas mediante técnicas geodésicas espaciales de alta precisión. Debido al movimiento de las placas tectónicas y su deformación que alteran las coordenadas de las de sus estaciones hace que las velocidades sean incluidas, de tal forma que una observación instantánea en la superficie de la tierra, como las coordenadas ITRF difiere del sistema de referencia satelital, estas deben ser trasladadas en el tiempo. Esa dependencia hace que la ITFR notifique la época para la cual la posición de sus estaciones es vigente.

Traslado de las coordenadas fiduciales desde la época de referencia a la época de observación. Es decir, las coordenadas asociadas a SIRGAS95

deben trasladarse desde 1995.4 al día en que se hace el levantamiento GNSS, por ejemplo 2018.0. Dicho traslado se hace mediante:

$$X_{(t)} = X_{(t_0)} + (t - t_0) * V_x$$

$$Y_{(t)} = Y_{(t_0)} + (t - t_0) * V_y$$

$$Z_{(t)} = Z_{(t_0)} + (t - t_0) * V_z$$

Donde,

$X_{(t)}, Y_{(t)}, Z_{(t)}$ Son las coordenadas de la época deseada

$X_{(t_0)}, Y_{(t_0)}, Z_{(t_0)}$ Son las coordenadas de la época de referencia

$(t - t_0)$ Es el intervalo de tiempo Transcurrido entre la realización del sistema y el levantamiento GNSS

V_x, V_y, V_z Son las velocidades de las estaciones de referencia

Sistema Referencia Geocéntrico para las Américas SIRGAS, es una extensión del ITRF para las Américas, está conformada por una red de 180 estaciones geodésicas de alta precisión con un cubrimiento homogéneo de tal forma que las redes locales estén integradas al ITRF. El datum geodésico está definido por parámetro del geoide GRS80 (Geodetic Reference System, 1980), orientado según los ejes coordenados del sistema de referencia SIRGAS, equivalente al ITRF94. (IGAC, 2004)

La red GPS permanente está compuesta por más de 40 puntos de rastreo continuo, cuya información es procesada semanalmente por DGFI (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut) con Centro de Procesamiento Regional (RNAAC: Regional Network Associate Analysis Center) del Servicio

Internacional GPS (IGS: International GPS Service), que garantiza su referencia permanente con el sistema geocéntrico global. (IGAC, 2004).

Marco de Geocéntrico Nacional de Referencia, MAGNA. La Red Básica GPS MAGNA por estar referida a SIRGAS se denomina MAGNA-SIRGAS y el datum geodésico asociado corresponde con el elipsoide GRS80 (Geodetic Reference System, 1980).

MAGNA está conformada por cerca de 70 estaciones GPS de cubrimiento nacional de las cuales 6 son de funcionamiento continuo, 8 son vértices SIRGAS y 16 corresponden con la red geodinámica CASA (Central and South American geodynamics network). Las coordenadas de las estaciones MAGNA-SIRGAS están definidas sobre el ITRF94, época 1995.4. (IGAC, 2016)

Sistemas Geodésicos Mundiales WGS84 (World Geodetic System). Es un sistema de referencia terrestre único para referenciar las posiciones y vectores. Se define como un sistema cartesiano geocéntrico con origen en el centro de masa de la Tierra, el eje Z paralelo a la dirección del polo CIO o polo medio definido por el BIH, época 1984.0 con una precisión de 0,005", el eje X como la intersección del meridiano origen, Greenwich, y el plano que pasa por el origen y es perpendicular al eje Z. El eje Y ortogonal a los anteriores, pasando por el origen. (IGAC, 2016)

Sistemas Geodésicos Mundiales GRS80 (Sistema de Referencia Geodésico 1980), se caracteriza por tener el origen del sistema coordenadas rectangulares es coincidente con el centro de masas de la tierra, el eje menor, el eje menor del elipsoide tiene la misma dirección que el origen internacional convencional (CIO) designado para el

movimiento polar, el meridiano de referencia es el designado por el BIH (Bureau International de l'Heure).

Sistema de referencia Vertical, Las altitudes geodésicas h se obtienen mediante la tecnología GNSS de manera eficiente y precisa. Están referida a un elipsoide geocéntrico, generalmente el GSR80 (o WGS84, que en este sentido es lo mismo). Carecen de significado geométrico y físico apropiado, por lo que no son de utilidad directa como sistema de altitudes. Su transformación en altitudes ortométrica, distancias a lo largo de la línea de la plomada entre un punto de la superficie de la Tierra y el geoide (definido este como la superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que mejor se ajusta, en el sentido de los mínimos cuadrados, al nivel medio del mar), es inmediata y obedece a la ecuación trivial:

$$H = h - N$$

Siendo N la *ondulación del geoide*, es decir, la distancia entre el geoide y el elipsoide medida a lo largo de la normal al elipsoide.

Así pues, convertir altitudes geodésicas (o elipsoidódicas h) en altitudes geodésicas H requiere de un geoide. Puesto que las altitudes geodésicas h pueden obtenerse con un par de centímetros de precisión este sería el valor óptimo del error relativo de un geoide. (IGAC, 2016)

Geoides Globales. Una solución al problema que se plantea en el apartado anterior viene dada por los modelos geopotenciales globales. Estos consisten en un conjunto de coeficientes a partir de los cuales es posible calcular la ondulación del geoide en cualquier punto de la tierra a partir de sus coordenadas geodésicas. El Modelo Gravitacional Terrestre EGM08, realizado por la Agencia Geoespacial Americana, 'US National

Geospatial Agency' es el más preciso de los modelos en la actualidad. Consiste en aproximadamente 3 000 000 de coeficientes calculados a partir de la base de datos gravimétrica mundial, otros datos gravimétricos obtenido a partir de satélites artificiales, modelos digitales del terreno y datos de altimetría del nivel medio del mar. La resolución de este modelo es de ~ 9 km y la precisión varía mucho de un lugar a otro de la tierra, dependiendo de la cantidad y calidad de los datos con que haya contribuido esa región a la determinación de los coeficientes y en general de la orografía de la región, ya que la topografía contribuye con el mayor aporte a las cortas longitudes de onda de la señal gravitatoria. Una de las primeras tareas a realizar en la zona deberá ser calibrar la precisión de este EGM08 en la región. (IGAC, 2016)

Modelos Locales. Existen esencialmente dos métodos para el cálculo de geoides locales precisos. Se basan ambos en la transformación de las fórmulas de Stokes o Molodensky para poder calcular las altas frecuencias de las señales del geoide. En ambos casos se parte de un modelo geopotencial global y se utiliza la técnica eliminación - restitución. Brevemente consiste en substraer de las anomalías gravimétricas locales los valores de anomalías calculados con los modelos globales, obteniéndose así las anomalías residuales. Estas anomalías residuales convertidas en anomalías de altitud a partir de las fórmulas de Stokes se añaden a las ondulaciones calculadas mediante el modelo global consiguiéndose así un modelo local refinado. En el caso de regiones de una orografía rugosa (como es el nuestro) se pueden utilizar las técnicas de anomalías residual del terreno (Forsberg and Tscherning 1981; Forsberg 1984, 1985), consistente en eliminar las componentes de baja frecuencia ya implicadas en los modelos globales mediante un Modelo Digital del Terreno y

transformar el modelo residual del Terreno en anomalías de altitud mediante el cálculo del potencial gravitacional a partir de las fórmulas de la atracción de estructuras prismáticas. (IGAC, 2016)

Geoide local preciso en el valle del rio cauca. GEOVALLE. La realización de un geoide preciso en la región del Valle del cauca surgió como una iniciativa de la corporación autónoma regional del Valle del Cauca CVC, quien se dio a la tarea de la de combinar el modelo EGM08 con nuevos datos gravimétricos (siguiendo la técnica de remove – restore basada en las fórmulas de Stokes y Molodensky) y con los modelo digitales STRM y DTRM2006.0. para esto, fueron necesarios nuevos datos gravimétricos, es decir, datos que no hayan participado en la determinación del modelo global EGM08. Estos nuevos datos gravimétricos se obtuvieron mediante un levantamiento (de no muy elevada densidad de puntos) a realizar en la zona utilizando un gravímetro LaCoste-Romberg más los procedentes de un vuelo Aero gravimétrico (en caso de que estos últimos datos sean de la calidad adecuada) realizado con otros propósitos en la región de estudio. El STRM es un moderno modelo digital, de dominio público, de una resolución de 3'. El EDM2006.0 es el desarrollo en armónicos esféricos de la topografía terrestre realizado por el mismo equipo que calculó el EGM08. sirvió como filtro para las componentes de alta frecuencia del STRM.

El proceso incluyó:

- Determinación de la precisión del modelo global EGM08 en la región a partir de los puntos de nivelación que haya en la zona. Si estos puntos tienen solo altitudes niveladas se realizaron mediciones gravimétricas en ellos con el fin de dotarlos de altitudes ortométricas.

Se realizarán también medidas GPS, con lo cual se obtuvo en dichos puntos las correspondientes ondulaciones de geoide. Comparadas con las obtenidas a partir de los modelos globales obtendremos su precisión.

- Se efectuó un levantamiento gravimétrico en la región dadas las condiciones orográficas (y otras) y se calculó la contribución de la topografía a partir de los Modelos Digitales del Terreno.
- Una vez recopilados los datos, homogeneizados, filtrados y determinado su precisión se extrapolaron mediante de técnicas de Colocación a una malla suficientemente densa de valores a partir de los cuales y mediante técnicas que son estándar calcularemos una maya con las ondulaciones del geoide.

A partir de este proceso, se construyó el modelo geoidal conocido como GEOVALLE, el cual se encuentra disponible en la página institucional de la CVC (<http://www.geo.cvc.gov.co/visor/>)

5.3. Levantamiento topográfico con estación total

El levantamiento topográfico es el conjunto de operaciones realizadas con instrumentos adecuados en una superficie de terreno para su posterior presentación, grafica o en planos. En él, se combinan dos áreas de la topografía, la planimetría y la altimetría, permitiendo mostrar tanto la posición como la elevación de los puntos del terreno. (Franquet, 2010)

La Altimetría. Medición de las diferencias de nivel entre los diferentes puntos del terreno, usando, ángulos verticales y distancias, o distancias verticales a partir de un plano horizontal de referencia.

Básicamente para el cálculo de desnivel se presentan dos situaciones: Calcular el desnivel de dos puntos cuando el terreno es ascendente y descendente. En la Figura 1 se observa el cálculo para cada situación

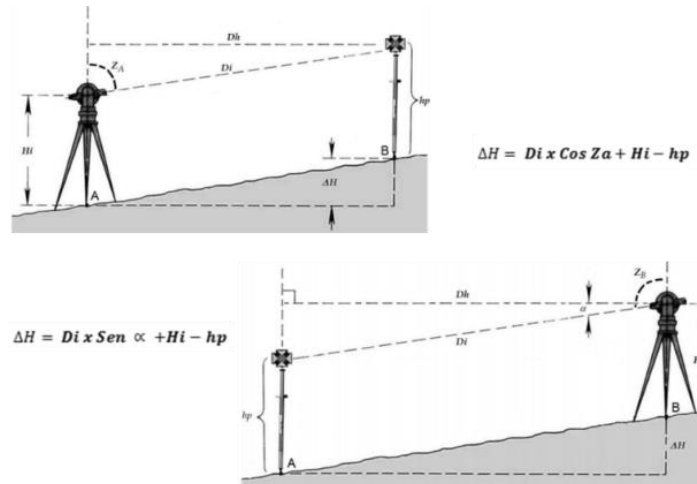


Figura 1 Nivelación Trigonométrica, Situaciones

Fuente: Ministerio de Agricultura Chile, 2014

Los métodos altimétricos o de nivelación se clasifican en

- Nivelación Geométrica. Mediante visuales horizontales se calculan los desniveles.
- Nivelación Trigonométrica. La medida de ángulos y distancias es usada para calcular el desnivel por medio de procedimientos trigonométricos.
- Nivelación Barométrica. Menos precisa. Utiliza un barómetro para medir el desnivel entre puntos, mediante la variación de la columna de mercurio.

La Planimetría. Proyección del terreno sobre un plano horizontal, usando, ángulos horizontales y distancias, a partir de un punto y una línea de referencia. El conjunto de líneas que une los puntos se denomina

poligonal, que es la estructura base del levantamiento, a partir de la cual se detalla el terreno.

La Poligonal, puede ser abiertas o cerrada. En la primera, se parte de un punto conocido con una línea de referencia y se termina en otro punto conocido. Para la segunda, se parte de un punto conocido con una línea de referencia y al final del trayecto se vuelve al punto de partida, Figura 2.

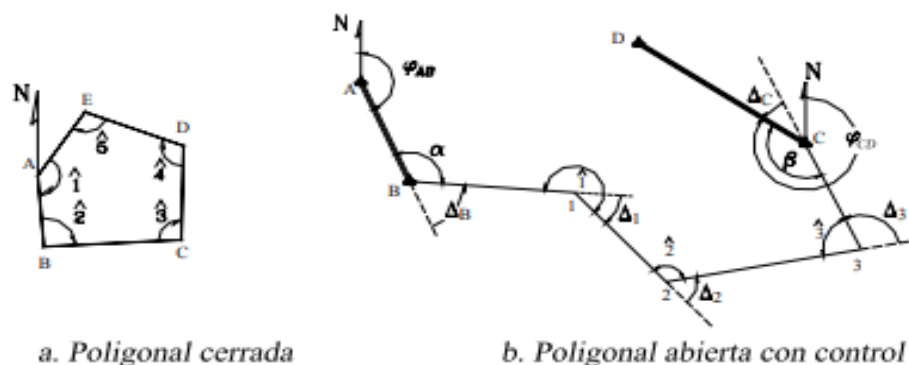


Figura 2 Tipos de Poligonal

Fuente: (Casanova, 2002)

El error de cierre de la poligonal abierta o cerrada, resulta de las diferencias entre los valores obtenidos de las observaciones, y los valores conocidos. Diferencia que es ocasionada por errores angulares y lineales. Su tolerancia está dada según las características del instrumento, la longitud y el número de punto de la poligonal. El error angular debe ser menor que la tolerancia angular, de lo contrario debe volver a medirse los ángulos. (Casanova, 2002)

Error de cierre angular poligonal abierta:

$$Ea = \sum < Int - (n - 2) * 180$$
$$Ta = a\sqrt{n}$$

Donde,

Ea , es el error angular

$\sum < int$, es la sumatoria de ángulos internos

a , es la apreciación del instrumento

n , es el número de lados

(Casanova, 2002)

Error de cierre angular poligonal cerrada:

$$Ea = A_{fc} - A_f$$

Donde,

A_{fc} , es el azimut final calculado

A_f , es el azimut final conocido

(Casanova, 2002)

Error lineal de la poligonal cerrada:

$$\varepsilon \Delta N = \sum \Delta_{N-S}$$
$$\varepsilon \Delta E = \sum \Delta_{E-O}$$
$$\varepsilon l = \sqrt{\varepsilon \Delta N^2 + \varepsilon \Delta E^2}$$

Donde,

$\varepsilon \Delta N$, es la sumatoria de las proyecciones en el eje N-S

$\varepsilon\Delta E$, es la sumatoria de las proyecciones en el eje E-O

εl , es el error lineal

(Casanova, 2002)

Error lineal de la poligonal abierta:

$$\varepsilon\Delta N = \sum \Delta_{N-S} - \Delta N_{BC}$$

$$\varepsilon\Delta E = \sum \Delta_{E-O} - \Delta E_{BC}$$

$$\varepsilon l = \sqrt{\varepsilon\Delta N^2 + \varepsilon\Delta E^2}$$

Donde,

$\sum \Delta_{N-S}$, es la sumatoria de las proyecciones sobre el eje N-S

$\sum \Delta_{E-O}$, es la sumatoria de las proyecciones sobre el eje E-O

ΔN_{BC} , es la diferencia entre las coordenadas Norte del punto inicial y el final

ΔE_{BC} , es la diferencia entre las coordenadas Este del punto inicial y el final

(Casanova, 2002)

Precisión de la poligonal:

$$p = \frac{\varepsilon l}{\sum L}$$

Donde,

ΣL , es la sumatoria de los lados de la poligonal en metros

p , es la precisión

(Casanova, 2002)

La innovación en los aparatos topográficos ha agilizado y simplificado los procesos que se realizaban hasta hace poco. Uno de ellos es la Estación Total, instrumento que reúne tres componentes básicos; teodolito electrónico digital, distanciómetro electrónico y microprocesador.

La Estación puede medir ángulos horizontales, verticales y distancias inclinada, valores que aparecen de a través de una pantalla y un procesador que realiza los cálculos de distancia y desnivel. Si las coordenadas del punto ocupado y el azimuth de la línea de referencia son conocidos, se pueden obtener de forma inmediata las coordenadas del siguiente punto, aparecen en la pantalla y pueden ser almacenadas en la memoria interna o en un colector externo.

El microprocesador realiza múltiples funciones: promediar ángulos y distancias, corregir ángulos horizontales y verticales por errores de colimación, corregir distancias por refracción atmosférica y presión, corrección por prisma, corrección por curvatura y refracción a elevaciones determinadas por nivelación trigonométrica, reduce las distancias inclinadas a sus componentes horizontal y vertical, realiza el cálculo de coordenadas de puntos de la poligonal y sus radiaciones, entre otras cosas.

La precisión depende de que tan avanzada sea la tecnología incorporada. Actualmente se encuentra con:

- Precisión angular de 0.5"
- Precisión en distancia de 0.6 mm+1ppm

- Alcance de 3 Km

5.4. Topo batimetría

Es el levantamiento del relieve de superficies subacuáticas o fondos, cuyos resultados son plasmados gráficamente y sirven de base para otras actividades.

La batimetría se puede realizar dependiendo de la profundidad, ya sea por métodos convencionales como el vadeo (caminar por el lecho de la cuenca) con Estación Total, Ecosonda análoga o digital, o con los equipos de última tecnología como el ADCP HWR600-1 teledyne o el RS-M9 Sontek.

En los levantamientos batimétricos con topografía convencional, los puntos forman perfiles alineados en una determinada dirección, generalmente perpendiculares al eje a la trayectoria de la fuente hídrica y paralelos entre ellos, Figura 3.

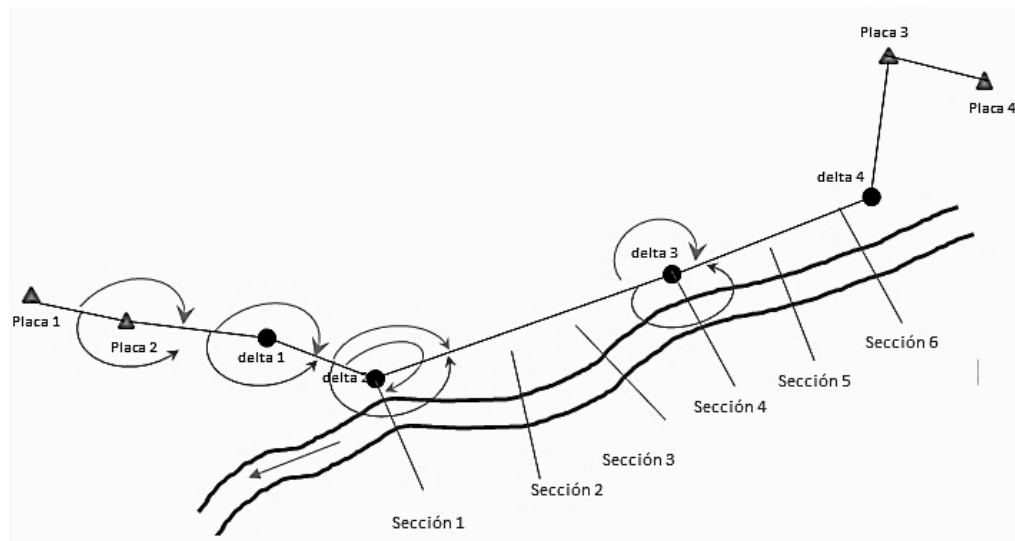


Figura 3 Levantamiento Batimétrico

El número de puntos depende de la escala del levantamiento, un punto por cm² de plano. La distancia entre los perfiles o secciones transversales será el que corresponda a este centímetro en la escala del levantamiento, (FARJAS ABADIA, 2007).

La batimetría con ecosonda requiere de una embarcación donde La Sonda y el receptor GNSS se encuentran conectados entre sí y también a un ordenador portátil que, mediante un Software de navegación y registro de datos, permite sincronizar ambos equipos y registrar coordenadas XYZ del lecho, con un error inferior al 3% de la altura de columna de agua que sumerge el fondo medido

Para la toma de puntos se realizan una serie de perfiles transversales al eje del río separados entre una cierta distancia y con toma de puntos aproximadamente cada 3 metros en el sentido de cada pasada y a su vez se realiza una pasada en el sentido longitudinal del río para la obtención de puntos de comparación, (Gallardo, 2014), Figura 4.

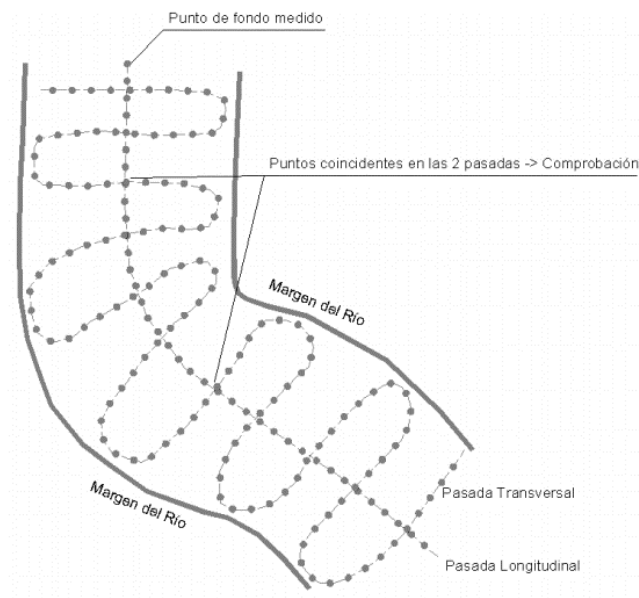


Figura 4 Esquema Batimetría de río por Ecosonda

Fuente: (Gallardo, 2014)

Según el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), para los cuerpos de agua grandes, como ciénagas embalses, lagos y ríos de primer orden (como: Magdalena, Cauca, Amazonas, Atrato, San Jorge), se deben establecer recorridos sinusoidales con espaciamientos promedios de 250 metros entre secciones, para los ríos secundarios, caños conectores, canales y quebradas, el espaciamiento entre secciones debe estar del orden de los 150 metros y para los cuerpos de agua menores el espaciamiento entre los perfiles debe estar del orden de los 100 m, (IDEAM, 2013).

6 METODOLOGÍA

La metodología del presente estudio, plantea tres frentes de desarrollo de actividades, el primero es el estudio de los requerimientos de insumos geomáticos primarios, abstraídos de la metodología de zonificación de amenazas por movimientos en masas, avenidas torrenciales e inundaciones el segundo es la aplicación de los estándares de calidad para el levantamiento y evaluación de productos espaciales y el tercero es la instrumentación y el diseño de los procedimientos de campo para el levantamiento de la información requerida, con las especificaciones deseadas para fines de zonificación de amenazas, Figura 5.

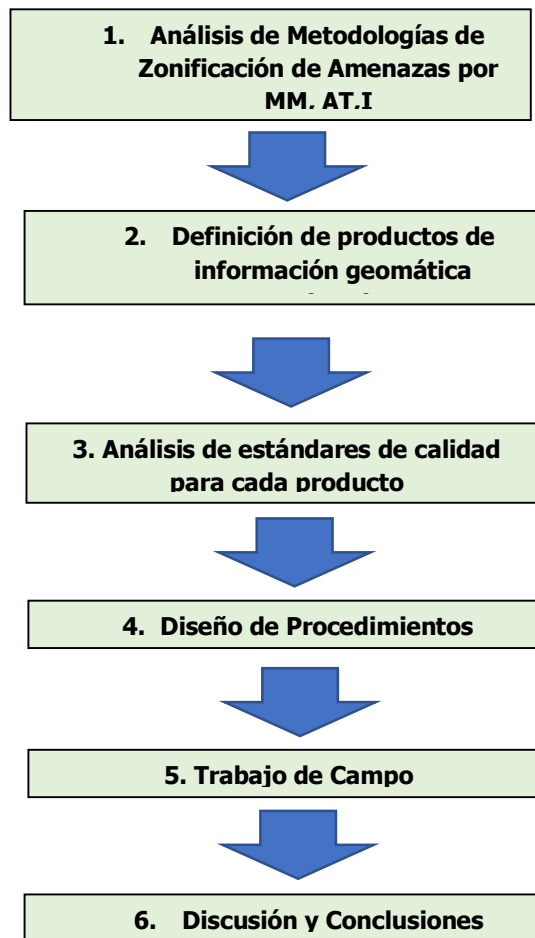


Figura 5 Esquema metodológico

6.1 Análisis de metodologías de zonificación de amenazas por Movimientos en masas, Inundaciones y Avenidas Torrenciales

Se revisaron de manera detallada las metodologías de zonificación de amenazas por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones para determinar los insumos producto de levantamiento de información primaria en campo, con el fin de establecer sus características técnicas, Sistema de referencia, especificaciones, escalas, errores asociados, formatos de salida, etc.

De acuerdo con la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, desarrollado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y la Universidad Nacional (UNAL), mediante el Convenio Especial de Cooperación 020 del 2013, la gestión de riesgo comprende tres etapas: el análisis de riesgo, la evaluación de riesgo, la mitigaciones y prevención del riesgo.

6.1.1 Análisis de riesgos

Como se definió en los conceptos generales esta abarca etapas de estudio como son, el análisis de amenaza, análisis de vulnerabilidad y cálculo del riesgo.

En la primera etapa del análisis de riesgos o análisis de amenazas se debe definir un modelo geológico-geotécnico, en el cual se tiene en cuenta la inestabilidad del área de estudio, se plantea escenarios de amenaza y se zonifica la amenaza, de los cuales se obtienen mapas de amenazas. Según lo dispuesto en el Decreto 1807 de 2014 para realizar los estudios de amenaza se requiere cartografía básica del área a escala 1:5000 y a partir de ella se genera la cartografía temática correspondiente a la cartografía geológica, geomorfológica, geomorfodinámica, cobertura y uso de suelos. Para estudios de detalle se realiza a escala 1:2000, también se utiliza insumos como modelo digital de terreno, topografía, sensores remotos (fotografías aéreas, ortofotos, imágenes satelitales, entre otros), información existente en estudios y mapas de amenazas naturales, vulnerabilidad y riesgo a local y la recopilar de información existente acerca de eventos amenazantes ocurridos con anterioridad en la zona de estudio.

La segunda etapa que corresponde al análisis de vulnerabilidad se identifica los escenarios de vulnerabilidad y se zonifica la vulnerabilidad. Los escenarios de vulnerabilidad se construyen a partir de los escenarios de amenazas. Una vez se tengas esos escenarios de amenazas se procede a realizar la zonificación de vulnerabilidad, construyendo mapas en los que se identifiquen las zonas de alta, media y baja vulnerabilidad.

Por último, en el cálculo del riesgo se tiene en cuenta el valor probable de pérdidas por año, separando las pérdidas de vidas humanas y las pérdidas económicas. La cuantificación es útil para gestionar el riesgo ya que integra el análisis costo-beneficio y proporciona la base para la priorización de acciones de mitigación y designación de recursos. (IGAC, 2016)

6.1.2 Evaluación de riesgos

En esta evaluación se comprende la definición de criterios de seguridad, aceptabilidad, tolerancia del riesgo para definir los niveles de riesgo alto, medio o bajo con los que se construye el mapa de zonificación de riesgos.

Se busca la manera de prevenir los daños ante las posibles amenazas y las medidas de mitigación y prevención del riesgo, puesto que son el resultado específico de cada uno de los estudios de riesgo que se realicen.

Cuadro resumen requerimientos según metodología

INSUMOS	Escala	Descripción
Cartografía Base	1:2000 o 1:5000	Urbanística georreferenciada
DTM	1:5000	Tamaño de pixel 1x1 m, validada
Topografía Básica	1:5000	Georreferenciada, densificada
Topo batimetría	1:5000	Secciones transversales, longitudinales, DTM e inventario obras

6.2 Definición de productos de información geomática primaria

Se elabora un listado de insumos de campo requeridos para el inicio de las labores del proyecto, adicionalmente se discriminan sus especificaciones técnicas, escalas, errores asociados, formatos de salida, entre otros

Cartografía básica de los sectores urbanos de los municipios de Versalles, Roldanillo y Bolívar en formato digital, con las características urbanísticas como sistema vial, equipamiento (salud, educación, recreación, etc.), infraestructura de servicios público, aguas superficiales entre otros. Referida al sistema de coordenadas MAGNA Sirgas y los mapas se presentarán en un sistema de proyección cartesiana (Norte, Este) a escala 1:5000 o 1:2000 a un tamaño de 75x50 cm.

La CVC entregó los insumos para la construcción de esta cartografía base a partir de imágenes tomadas con fotogrametría durante el año 2013, por lo tanto, en este producto no fue necesario programar actividades de campo, salvo para validación de datos y toponimia.

Modelo Digital de Terreno En el marco del convenio 0205 de 2017, la CVC entregó un modelo de elevación digital obtenido mediante técnicas de LIDAR durante el año 2013, esta información se encuentra en formato raster con un tamaño de pixel 1x1 m, referido al sistema de referencia MAGNA SIRGAS para la componente horizontal y en datum GEOVALLE para las alturas, para los municipios de Versailles, Roldanillo y Bolívar en escala 1:5000, a la que debe integrarse la información correspondiente a las superficies subacuáticas por técnicas de levantamientos topobatimétricos que incluyen batimetría e hidro topografía. En la batimetría se realiza el levantamiento del relieve de las superficies subacuáticas y en hidro topografía se obtiene tanto la batimetría del cuerpo de agua como la topografía de orillas y las zonas de planicie que bordean dicho cuerpo de agua.

Topografía básica complementaria consiste en la realización de los levantamientos complementarios para la descripción de los fenómenos estudiados, estos deben estar amarrados a la red geodésica nacional, debidamente materializada en las zonas de interés de cada uno de los tres municipios.

Topo batimetría de los cuerpos de agua del Rio Roldanillo, Zanjón de los Mudos y Quebrada El Rey en el municipio de Roldanillo, así como el rio Pescador y el Zanjón de la Mina en el municipio de Bolívar. Presentados en formato dwg en escala horizontal 1:100 y vertical 1:10, con una precisión dada por el ajuste en el levantamiento topográfico convencional.

6.3 Análisis de estándares de calidad de cada producto

Se efectúa una revisión técnica de los estándares de calidad, más adecuados para la evaluación de los productos y su dimensionamiento, para esto se tendrá en cuenta las normas técnicas internacionales y los procedimientos recomendados.

6.3.1 Cartografía básica digital

Resolución Espacial. Corresponde al tamaño mínimo de representación del terreno o GSD (Ground Sample Distance). Un mayor tamaño de pixel indica menor resolución. De acuerdo al IGAC la resolución espacial expresada en GSD se puede observar en la Tabla 1, (IGAC, 2016)

Tabla 1 Resolución espacial expresada en GSD

Índice hoja	GSD
1:1.000	10 centímetros
1:2.000	20 centímetros
1:5.000	30 centímetros
1:10.000	50 centímetros
1:25.000	100 centímetros

Nota. Fuente: IGAC, 2016

Sistema de Referencia. Mediante resolución 068 de 2005 se adoptó como único datum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS. Tabla 2

Tabla 2 *Sistema de coordenadas geográficas MAGNA*

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS: GCS_MAGNA	
Código	4686
Unidad Angular:	0,017453292519943299 grados
Primer Meridiano:	Greenwich 0,000000000000000000
Datum geodésico:	MAGNA_SIRGAS
Elipsoide:	GRS 1980
Semieje mayor:	6378137
Semieje menor:	6356752,314
Aplanamiento	298,2572221

Nota. Fuente: IGAC, 2016

Proyección Cartográfica. Cuando la cartografía es a gran escala se proyecta a un sistema de coordenadas cartesianas locales, de lo contrario se proyecta al sistema de coordenadas Gauss_Krüger, en el origen correspondiente, según su localización geográfica. Por la ubicación de la zona de estudio corresponde a MAGNA Oeste, (IGAC, 2016). Tabla 3

Tabla 3
Orígenes de coordenadas GAUSS KRUGER

Nombre del origen	Coordenadas elipsoidales		Coordenadas Gauss	
	Latitud	Longitud	Norte (m)	Este (m)
Central-Magna (C)	4°35'46,3215"	74°04'39,0285"	1'000.000	1'000.000
Este-Central-Magna (EC)	4°35'46,3215"	71°04'39,0285"	1'000.000	1'000.000
Este-Este-Magna (EE)	4°35'46,3215"	68°04'39,0285"	1'000.000	1'000.000
Oeste- Magna (W)	4°35'46,3215"	77°04'39,0285"	1'000.000	1'000.000
Oeste-Oeste-Magna (WW)	4°35'46,3215"	80°04'39,0285"	1'000.000	1'000.000
Oeste-Insular-Magna (WI)	4°35'46,3215"	83°04'39,0285"	1'000.000	1'000.000

Nota. Fuente: IGAC, 2016

Exactitud Posicional Absoluta. La base cartográfica garantizará la exactitud posicional absoluta al 95% de confianza de acuerdo con la siguiente Tabla 4.

Tabla 4 *Exactitud absoluta de posición por escalas*

Escala	Horizontal (m)	Vertical	Exactitud Horizontal	Exactitud Vertical
1:1.000	0,21m	0,30m	0,52m	0,73m
1:2.000	0,43m	0,60m	1,04m	1,47m
1:5.000	1,06m	1,50m	2,60m	3,67m
1:10.000	2,13m	3,00m	5,20m	7,34m
1:25.000	5,31m	7,50m	13,01m	18,36m

Nota. Fuente: IGAC, 2016

Exactitud Posicional Relativa. Verificación de la fidelidad con la cual son capturados los elementos del catálogo de objetos respecto de la fuente de datos considerando la tolerancia de 0,125mm por el módulo escalar, (IGAC, 2016)

Tabla 5 *Nivel de Tolerancia por Escala*

Escala	Tolerancia (mm)
1:1.000	0,125
1:2.000	0,250
1:5.000	0,625
1:10.000	1,250
1:25.000	3,125

Nota. Fuente: IGAC, 2016

6.3.2 Construcción de modelos digitales del terreno

Dado que el proyecto cuenta con información suministrada por la CVC que incluye el DTM para los tres municipios, se plantea un trabajo de verificación de esta información, dada la sensibilidad de los modelos de estudio para la zonificación, debido a la escala de sus insumos.

En este sentido, se propone efectuar test de calidad para productos cartográficos que se describen a continuación.

NSSAD, National Standard for Spatial Data Accuracy. El método del Error Medio Cuadrático (RMSE) es utilizado para expresar la precisión del modelo. Los valores de precisión se obtienen con la comparación entre el DTM y los puntos de control, obtenidos del terreno con una muy buena precisión en posición y elevación.

$$RMSE_{(z)} = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (Z_{iDTM} - Z_{iGEO})^2}$$

Dónde,

Z_{DTM} : representa el valor vertical de menor precisión del punto.

Z_{GEO} : representa el valor vertical de mayor precisión del punto, en este caso el levantado por GPS.

n: número de puntos verificados

Si los errores siguen una distribución normal, el factor de 1,96 es aplicado para calcular el error lineal con un nivel de confianza del 95%.

$$\text{Precisión}_{(z)} = 1.9600 * RMSE_{(z)}$$

Se reporta de la siguiente manera: "Comprobado/compilado para ___ metros de exactitud vertical al 95% de nivel de confianza"

Con el fin de hacer un control de calidad óptimo, la ASPRS propone la precisión según el terreno, con los errores (RMSE) y número de puntos de control de acuerdo con el terreno, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6 *Precisión según el Terreno*

Tipo Terreno	No. Puntos	Error Medio Cuadrático (RMSE)	Precisión Vertical
Urbano	25	0.071	0.13
Forestal	35	0.116	0.26
Monte bajo	24	0.100	0.18
Cultivo	36	0.980	0.18
Terreno Abierto	47	0.081	0.12
Total Combinado	166	0.094	0.19

Fuente: ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), 2004

La ventaja de esta técnica no es la de decir si es aceptado o denegado, sino que ofrece un índice de calidad del producto en unidades reales sobre el terreno y es el usuario quien establece los límites de aceptación en función de sus necesidades. (ATKINSON, 2003)

NMAS, National Map Accuracy Standard. Sobre una muestra de no menos de 20 puntos se indica que como máximo el 10 % de los puntos de la muestra pueden tener un error vertical mayor de la mitad del intervalo de las curvas de nivel.

$$\text{Error}_{(Z)} = (Z_{DTM} - Z_{GEO})$$

Dónde,

Z_{DTM} : representa el valor vertical de menor precisión del punto.

Z_{GEO} : representa el valor vertical de mayor precisión del punto, en este caso el levantado por GPS.

Los resultados de esta técnica solo se expresan de la forma cumple o no cumple, sin indicar una medida de inexactitud. (ATKINSON, 2003)

Relación NSSAD y NMAS. La relación entre los test de validación está dada por la siguiente expresión:

$$VMAS = 1.6449 * RMSE_{(z)}$$

Despejando $RMSE_{(z)}$ y utilizando la fórmula de precisión vertical del NSSAD:

$$RMSE_{(z)} = \frac{VMAS}{1.6449}$$

$$Precision_{(z)} = 1.9600 * RMSE_{(z)}$$

Remplazando

$$Precision_{(z)} = \frac{1.9600}{1.6449} * VMAS$$

Entonces la precisión reportada respecto a la NSSAD es

$$NMAS\ CI = \frac{Precision_{(z)}}{0.5958} = 3.2898\ RMSE_{(z)}$$

La fuente de información utilizada para la comparación deben ser puntos de control de terreno, cuya distribución y chequeo proporcionan, un cubrimiento del área del proyecto y el error provee una descripción alrededor del punto.

6.3.2.1 Muestreo

Una muestra es cualquier conjunto de n unidades tomadas a partir de una población, es representativa y sus características deben reflejar las de la población. La población se debe definir en términos de; unidades, elementos, áreas y periodos de tiempo.

La elección de muestras requiere definir la región de interés, especificar las unidades de muestreo, el tamaño, la forma de los sitios muestreados que van a constituir el soporte de la muestra y el método de muestreo:

6.3.2.1.1 Muestreo aleatorio.

Técnica que permite obtener una muestra representativa de la población, basada en el concepto de probabilidad, de que cualquier elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser elegido y que la elección de cada elemento es independiente de cualquier selección previa.

Muestreo Aleatorio Simple. Cada elemento de la población tiene una oportunidad igual e independiente de ser seleccionado, para lo cual se le asigna un número. La muestra se determina con tablas de números aleatorios.

Muestreo Sistemático. Se selecciona una muestra tomando cada k -ésima unidad de la población, se numeran o arreglan de alguna forma. La letra k es la razón de muestreo, es decir, la razón del tamaño de la población correspondiente al tamaño de la muestra.

Ejemplo. Al seleccionar una muestra de 40 unidades de entre una población de 2000, k es $2000/40=50$, por lo que la muestra se obtiene tomando cada 50-esima unidad de la población.

Muestreo Estratificado. La población se divide en clases o grupos, denominados estratos. Las unidades incluidas en cada estrato deben ser relativamente homogéneas con respecto a las características a estudiar. Por ejemplo, se puede realizar un estudio para conocer la opinión de la población sobre un político determinado planteando una muestra estratificada por edades. Como parte de este muestreo, se toma una submuestra a partir de cada estrato mediante un procedimiento aleatorio simple, de modo que para obtener la muestra general se combinan las submuestras de todos los estratos.

Muestreo por Conglomerados. Selección aleatoria de conglomerados a partir de la población. Las diferencias entre los conglomerados son generalmente pequeñas y las unidades dentro de cada uno, normalmente, son más heterogéneas.

Por ejemplo, las ciudades con una población de 40 habitantes pueden tener características similares si las comparamos, pero la población es heterogénea. De esta manera el analizar un conjunto de ciudades de 40 mil habitantes ayudaría a caracterizar a la población de todas las ciudades de 50 mil habitantes del país.

6.3.2.1.2 Muestreos no probabilísticos

Ocurre cuando se realizan muestreos bajo criterios aleatorios y no probabilísticos.

6.3.2.1.3 Muestreos espaciales

En el análisis muestras espaciales se debe tomar en cuenta su tamaño, representatividad y sesgo, la influencia de los factores temporales y de los efectos de borde, así como sus consecuencias para el análisis; además de determinar si los datos son agregados, entre otros elementos. (De Smith, 2009). Estos factores determinaran el plan de muestreo que se debe considerar. Sin embargo, hay muestreos que pueden tomar la forma de puntos o cuadrantes.

Muestreo Aleatorio Simple. La selección de n sitios se hace de tal manera que cada miembro de una población tiene la misma e independiente probabilidad de ser elegido.

Con esta selección no se garantiza que se cubra toda el área de estudio, pues superficies relativamente grandes se quedan sin muestrear o bien las muestras aparentan estar agrupadas. Figura 6.

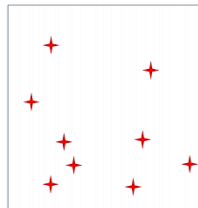


Figura 6. Muestreo aleatorio simple.

Fuente: (Porrás, 2014). Imagen basada en (Haining, 2003)

Muestreo Aleatorio Estratificado. La población a partir de la cual se elige una muestra es particionada en estratos de área, para los cuales se seleccionan los sitios de muestreo mediante un procedimiento aleatorio simple.

Con este muestreo se disminuye la posibilidad de que existan zonas sin muestras o zonas con alta concentración de muestras. Es importante mencionar que en el muestreo espacial los individuos que pertenecen a un estrato tienen como elemento común un espacio delimitado, por lo cual no son necesarios los valores homogéneos de otras variables. Figura 7

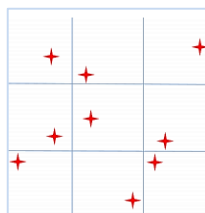


Figura 7. Muestreo aleatorio estratificado.

Fuente: (Porras, 2014). Imagen basada en (Haining, 2003)

Muestreo Sistemático. Se elige de manera aleatoria el sitio de muestreo para un estrato determinado, mientras que en los estratos restantes el sitio de muestreo se determina a partir de la misma posición relativa. Un caso típico de esto consiste en elegir el centro de cada estrato como sitio de la muestra.

El muestreo sistemático como en el estratificado, la forma que adoptan los estratos no está restringida al rectángulo, ésta puede ser cualquiera, triangular o hexagonal. Figura 8

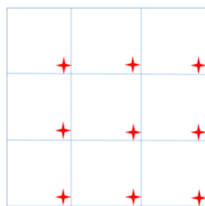


Figura 8. Muestreo sistemático.

Fuente: (Porras, 2014). Imagen basada en (Haining, 2003)

Muestreo Anidado. El muestreo requiere que la población se divida en bloques que se subdividen en otros, hasta alcanzar el nivel de detalle que se desee. En cada nivel, los bloques se anidan en bloques en un nivel superior. El propósito de la anidación es captar el comportamiento distintos niveles de escala. Un método para conseguir este objetivo implica establecer la distancia fija de separación entre las muestras en un primer nivel.

Posteriormente se eligen los sitios de segundo nivel, de manera que permanezcan separados a una distancia fija de los sitios de primer nivel, aunque con una dirección seleccionada al azar (Haining, 2003).

En la Figura 9 el muestreo anidado se observa las muestras de primer nivel de color rojas y las de segundo nivel, verdes

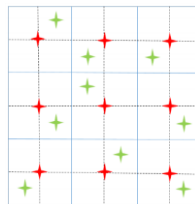


Figura 9. Muestreo anidado

Fuente: (Porrás, 2014)

6.3.2.2 Número de puntos

La ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), recomienda 100 puntos para control vertical por cada 2500 Km² y un mínimo de 20 puntos por cada tres o cinco coberturas terrestres presentes en el área. Aunque el número depende del tipo de cobertura terrestre y requerimiento del cliente.

Tabla 7 Numero recomendado de puntos chequeo basados en el área

Área del Proyecto (Km2)	Test Horizontal	Test Vertical		
	No. Puntos Chequeo	No. puntos Chequeo vertical en áreas no vegetación	No. puntos Chequeo vertical en ares si vegetación	Total No. Puntos chequeo vertical
≤500	20	20	0	20
501-750	25	20	10	30
751-1000	30	25	15	40
1001-	35	30	20	50
1251-	40	35	25	60
1501-	45	40	30	70
1751-	50	45	35	80
2001-	55	50	40	90
2251-	60	55	45	100

Nota. Fuente: ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), 2004

En la Tabla 7 aparece un listado con el número de puntos recomendados para chequeo horizontal y vertical, teniendo en cuenta el tipo de cobertura en las cuales hay presencia de vegetación o no en el área. Numero recomendado puntos de chequeo basados en el área

6.3.2.3 Distribución de puntos de control

La NSSDA (*National Standard for Spatial Data Accuracy*) ofrece un método de distribución que se puede aplicar a proyectos que son generalmente de forma regular y que en gran parte no tienen vegetación.

Los puntos de chequeo se pueden distribuir más densamente en la proximidad de características importantes y más escasamente en áreas de

poco o ningún interés. Cuando los datos existen solo para una parte del conjunto de datos, limite los puntos de prueba a esa área.

Asumiendo que la precisión posicional es uniforme, los puntos pueden ser distribuidos de tal forma que estén espaciados el 10 % de la longitud de la diagonal del conjunto de puntos y el 20% de los puntos este en cada cuadrante.

6.3.2.4 *Ubicación de los puntos*

Para una buena precisión en la validación del DTM la ubicación de los puntos de chequeo deben de cumplir las siguientes características:

- Ubicados en áreas sin vegetación (terreno despejado y abierto y áreas urbanas)
- Estar a 3 metros como mínimo de cualquier artefacto vertical o cambio abrupto en la elevación
- Estar en pendientes uniformes
- Estar dentro de la porción geométricamente confiable de ambas franjas (excluyendo los puntos de borde extremos de las franjas).

6.4 Diseño de Procedimientos

A partir del conocimiento de los requerimientos y los estándares a aplicar, se diseñan los métodos de campo para las diferentes actividades de recolección de datos con GNSS, topografía convencional, micro-geodesia, Batimetría, entre otros

6.4.1 Construcción redes de control GNSS

La ubicación de los puntos de control que conforman la red GNSS, se hace teniendo en cuenta las zonas de interés, de tal forma que sirvan de base para el levantamiento topográfico, muestreo y futuro monitoreo de movimientos en masa.

Materialización. Se fija en campo de manera permanente los puntos de control utilizando insumos como: Pin o anclaje de acero inoxidable de 10 cm de largo y un diámetro de aproximadamente 0.95 cm, Placas de Bronce de 7,5 cm de diámetro y un vástago en acero inoxidable de una longitud de 10 cm, cemento, arena y pintura, Figura 10.



Figura 10 Materialización Puntos de Control

Georreferenciación. Se determina la posición del conjunto de puntos mediante un sistema de coordenadas referidas a la superficie terrestre. Utilizando la tecnología GPS.

Los puntos de control se posicionan mediante el método relativo estático, para el cual se emplea 3 receptores, para hacer secciones de tres observaciones, una base y dos puntos, en un periodo de 2 horas, con el cual se garantiza precisiones del orden de $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$, Figura 11.

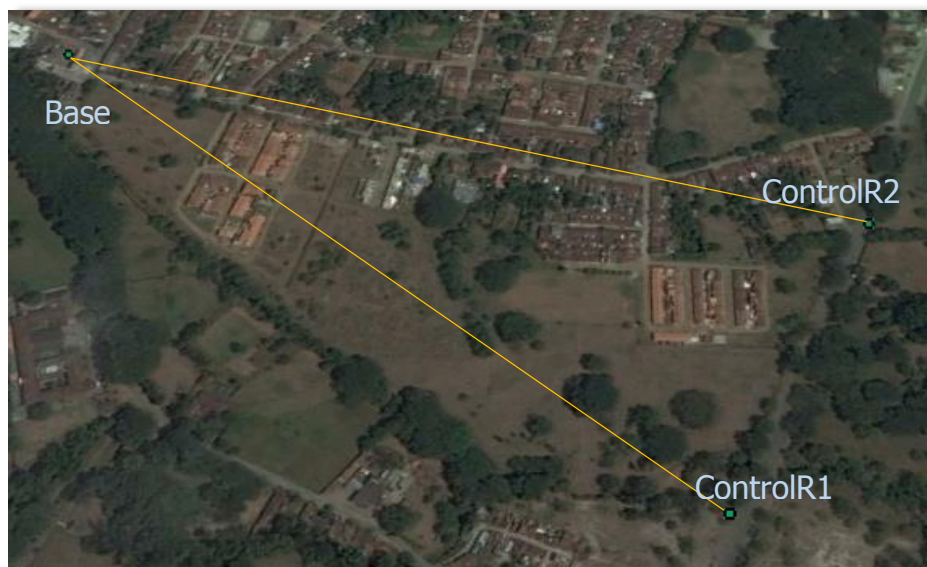


Figura 11 Georreferenciación Puntos de Control

6.4.2 Muestreo

La técnica escogida es la muestra anidada en la que se aprovecha la intersección de calles y carreras para dividir el área en bloques y a su vez estos se pueden subdividir en otros para alcanzar el detalle deseado, en este caso tener unas muestras superiores a 20 puntos de control terrestre para llevar a cabo la validación del DTM, según las especificaciones de la NSSAD (National Standard for Spatial Data Accuracy)

La muestra de puntos de control terrestre de acuerdo con la forma y el tamaño de la zona es de alrededor de 44 en Versalles, 63 en Roldanillo y 34 en Bolívar. La captura de la información posicional se realiza con tecnología GPS empleando el método cinemático STOP and GO, para el cual se requiere como mínimos un par de receptores, una base y un punto de control terrestre, con observaciones de 5 minutos.

6.4.3 Topografía Convencional

El levantamiento topográfico tanto de los movimientos en masa como el batimétrico se realiza con Estación Total, DT 500, por el método de poligonal abierta controlada, en la que se conoce las coordenadas y azimut inicial y final, permitiendo efectuar los controles de cierre angular y lineal, amarrada a la red de control GNSS.

6.4.3.1 *Movimientos en masas*

Se identificaron en el municipio de Versalles movimientos en masa como deslizamiento por fallamiento y subsidencia. La captura de los detalles del terreno se hace por medio de radiaciones, la densificación se hace de tal forma que se obtenga una representación muy detallada de este fenómeno en el área de estudio.

6.4.3.2 *Batimetría fluvial para cuerpos de agua pequeños y Drenajes intermitentes.*

Los cauces del proyecto al tener caudales bajos e inexistentes hacen que la captura de puntos que los define se haga mediante la técnica de vadeo, es decir a pie, desde observaciones hechas en tierra.

La estructura de la poligonal para el levantamiento de la información se caracteriza por ir paralela al eje del cauce, y los puntos o deltas que la conforman están ubicados de tal forma que pueden barrerse mediante el método de radiaciones, varios perfiles transversales, los cuales están paralelos entre sí a una distancia de 20 metros en tramos rectos. Los

perfiles transversales contienen detalles como: la llanura de inundación, fondo, espejo de agua y detalles de la ribera.

La recolección de datos sobre las obras de arte a lo largo de cada uno de los cauces se hace combinando dos métodos. La topografía convencional para dar ubicación geográfica e imágenes impresas sobre las cuales se anota las medidas a cinta de los detalles estructurales de las obras.

Rio Roldanillo. Es una fuente hídrica de bajo caudal, bordes arborizados en la mayor parte de su recorrido por el casco urbano, tramos con estructuras de control y un total de diez obras de arte entre box culvert, pontones y puentes de corta longitud. El levantamiento de detalles del cauce se hace a lo largo del eje unos 2.300m aproximadamente, con perfiles transversales cada 20 m que abarcan el ancho de la zona inundable.

Zanjón de los Mudos (Roldanillo). Cauce seco, canalizado en más del 80% de su recorrido por el municipio, con tramos entamborados, arborización presente en el tramo sin canalizar y después de la calle 4 hacia la zona del mirador, catorce obras de arte entre box culvert y pontones. El levantamiento de detalles del cauce se hace a lo largo del eje unos 1.750 m aproximadamente, con perfiles transversales cada 20 m que abarcan el ancho de la zona inundable.

Quebrada el Rey (Roldanillo). Cauce seco, arborizado a lo largo de su recorrido, altura del canal principal es mayor que los dos cauces anteriores, presenta algunas obras de contención, pero no de forma continua, cinco obras de arte entre box culvert, pontón y puentes. El levantamiento de detalles del cauce se hace a lo largo del eje unos 2.000 m

aproximadamente, con perfiles transversales cada 20 m que abarcan el ancho de la zona inundable.

Rio Pescador (Bolívar). Es una fuente hídrica de medio caudal, bordes arborizados en todo su recorrido bordeando el casco urbano, estructura de control en los dos únicos puentes. El levantamiento de detalles del cauce se hace a lo largo del eje unos 1.660 m aproximadamente, con perfiles transversales cada 20 m que abarcan el ancho de la zona inundable

Zanjón de la Mina (Bolívar). Cauce seco los primeros 1200 m después de los cuales presenta un caudal bajo, con vegetación la mayor parte del trayecto en su recorrido bordeando la zona urbana, presenta un puente y un box culvert. El levantamiento de detalles del cauce se hace a lo largo del eje unos 2.200 m aproximadamente, con perfiles transversales cada 20 m que abarcan el ancho de la zona inundable.

6.5 Trabajo de Campo

Se diseñaron y ejecutaron los trabajos de campo para 6 tipos de información requerida dentro de los cuales se encuentran:

- Amarre de redes a la Red Geodésica Nacional
- Construcción de red de control topográfico mediante GNSS
- Evaluación de calidad de un Modelo de elevación del terreno DTM
- Levantamientos Topográficos convencionales
- Elaboración de secciones Topo batimétricas
- Levantamiento de infraestructura y estructuras de control hidráulico

7 RESULTADOS DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

7.1 Amarre a la red Geodésica Nacional

En esta actividad se estudió la disponibilidad de estaciones de la red geodésica nacional pertenecientes a la red MAGNA pasiva y a la red MAGNA ECO, posteriormente se efectuó el trabajo de campo para la materialización de los puntos de control definidos en el diseño.

A partir de la estación MAGNA ECO de Zarzal se amarró la red local a la red MAGNA en el municipio de Roldanillo y Bolívar. En el municipio de Versalles se utilizó un punto de la red MAGNA pasiva, Figura 12.

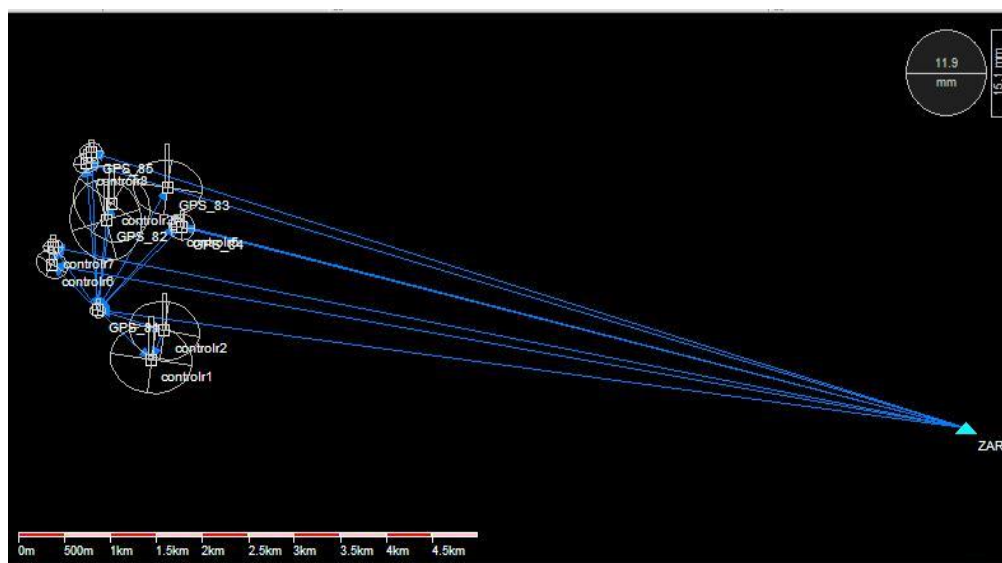


Figura 12 Diseño de la red de amarre a MAGNA Municipio de Roldanillo

Los errores generados en el cálculo de cada uno de los puntos fueron de orden milimétrico, quedando las redes para los dos municipios con precisión de 1 a 2 cm.

7.2 Evaluación de calidad de un Modelo de elevación del terreno

En esta actividad se siguieron procedimientos de calidad de la información espacial de estándares internacionales, para esto se diseñó un muestreo, acorde con la revisión realizada de modo regular en rejilla, definida por la estructura de la malla vial.

Los puntos de control terrestre posicionados con tecnología GNSS durante el proceso de muestreo fueron postprocesados en el software Leica Geosystem, con el fin de obtener las coordenadas elipsoidales referidas al sistema WGS84, para luego ser descargadas en el software ArcGis y realizar la proyección de WGS84 a MAGNA Colombia Oeste, junto con los ráster que contienen el DTM Geovalle y los DTM de Roldanillo, Versalles y Bolívar (Figura 13, Figura 14, Figura 15).



Figura 13 Muestra de datos para Validación DTM Versalles

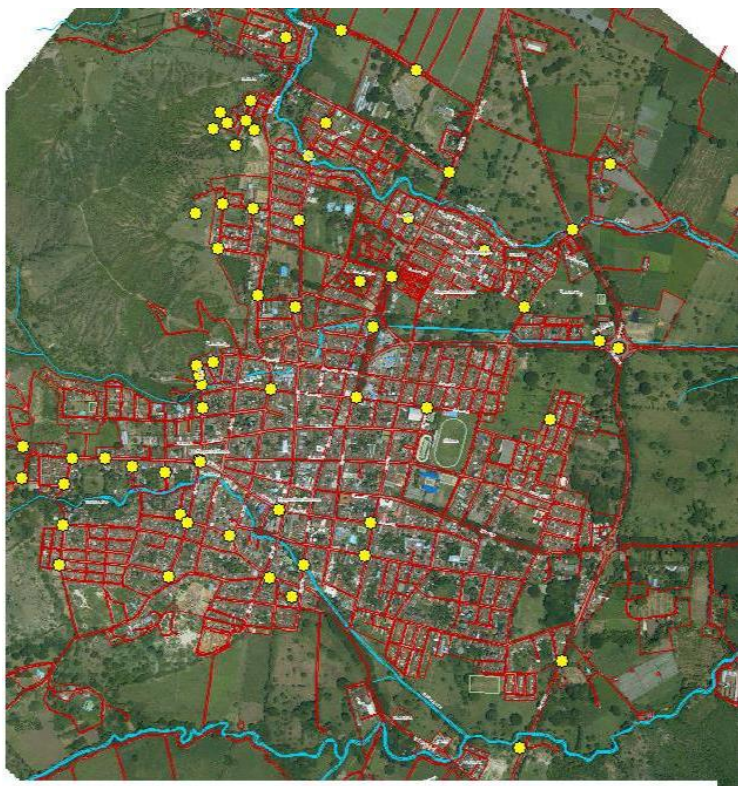


Figura 14 Muestra de datos para Validación DTM Roldanillo.



Figura 15 Muestra de datos para Validación DTM Bolívar

Mediante la herramienta Extract Values To Point se extrae el valor del raster para cada punto primero con respecto del DTM Geovalle (llamado GEO) y luego con respecto al DTM Roldanillo (llamado DTM), valores que representan la ondulación o diferencia entre el elipsoide y el geoide.

Para la validación del DTM se realiza el Test de precisión vertical de la NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy):

$$(Z_{DTM} - Z_{GEO})$$

Dónde,

Z_{DTM} : representa el valor vertical de menor precisión del punto.

Z_{GEO} : representa el valor vertical de mayor precisión del punto, en este caso el levantado por GPS.

Si el valor de la diferencia es positivo indica que el error está por encima de la altura del terreno y si es negativa este se encuentra por debajo de la altura de terreno para ese punto.

Obtenido el error vertical para cada punto de control se calcula el RMSE (Z):

$$RMSE_{(Z)} = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_1^n (Z_{iDTM} - Z_{iGEO})^2}$$

Antes de usar el test de precisión de la NSSDA, se debe asegurar que los errores siguen una distribución normal. Una forma es calculando algunos estadísticos de tendencia como la media, y otros de dispersión como la desviación estándar, la asimetría y la curtosis con los cuales se puede determinar su distribución sin hacer un gráfico.

Con las siguientes formulas se calcula los estadísticos para datos agrupados, Tabla 8.

Media

$$\bar{X} = \frac{\sum Marca * f}{n}$$

f es la frecuencia

n es el numero de datos

Marca es la marca de clases

Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Marca - \bar{X})^2 * f}{n}}$$

S es la desviacion estandar para datos agrupados

Asimetría. Coeficiente de asimetría de Fisher

$$g_1 = \frac{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n ((Marca - \bar{X})^3 * f)}{S^3}$$

\bar{X} es la media para datos agrupados

S es la desviacion estandar para datos agrupados

Curtosis

$$g_2 = \frac{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n ((Marca - \bar{X})^4 * f)}{S^4}$$

Tabla 8 Estadísticos para determinar distribución normal de datos

DTM	$RMSE_{(z)}$	Media	Desviación estándar	Asimetría	Curtosis
Roldanillo	0,216	-0.1323	0,027	-226.542	6249.699
Versalles	0.269	-0.098	0.256	0.745	18.106
Bolívar	0,104	0.010	0.096	-1.951	87.528

Los valores cercanos a cero de la desviación corroboran la concentración de datos alrededor de la media.

El valor cercano a cero de la asimetría indica que tiene una distribución muy cercana a la normal, pero su valor negativo indica que tiende a desplazarse ligeramente a la izquierda.

Como el valor $curtosis > 3$ se trata de una distribución leptocúrtica, es decir que decir que hay una gran concentración alrededor de la varianza. Distribucion normal de los datos corroborado graficamente con los histogramas de la ¡Error!

No se encuentra el origen de la referencia., **Figura 16,**

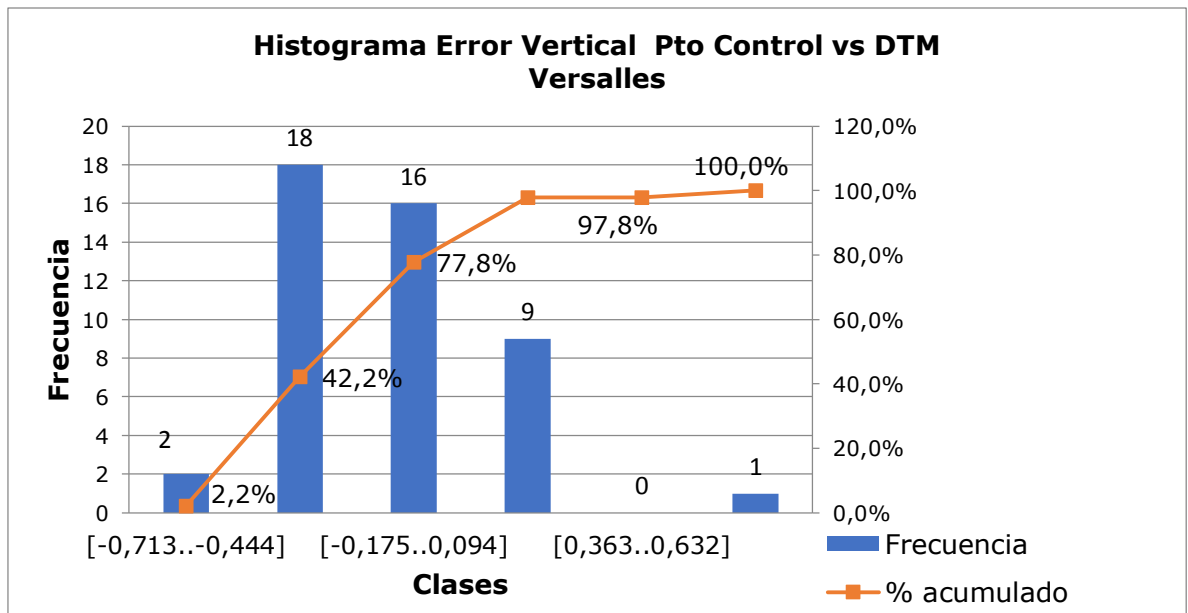


Figura 17 y Figura 18.

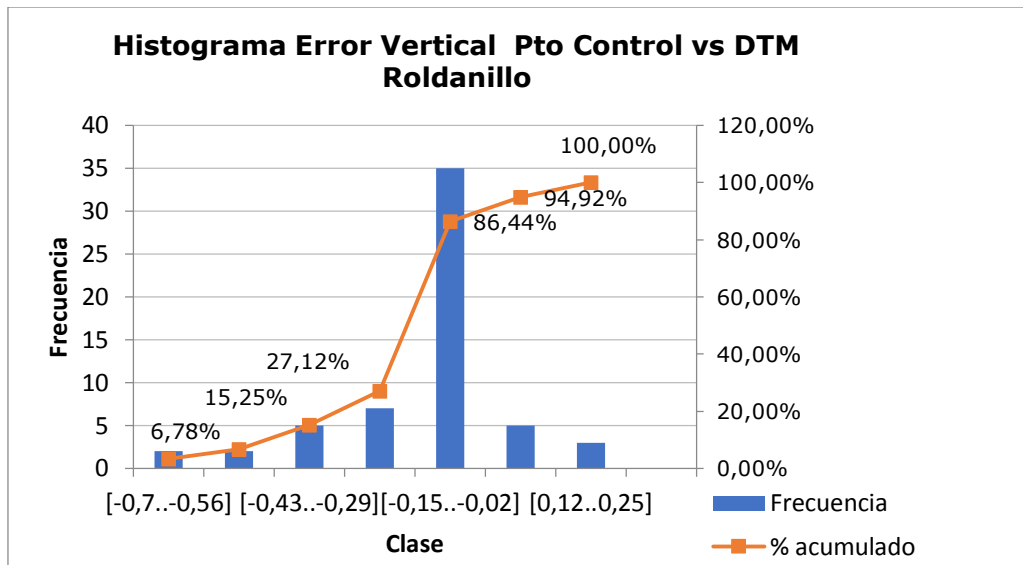


Figura 16 Distribución Normal del Error Roldanillo

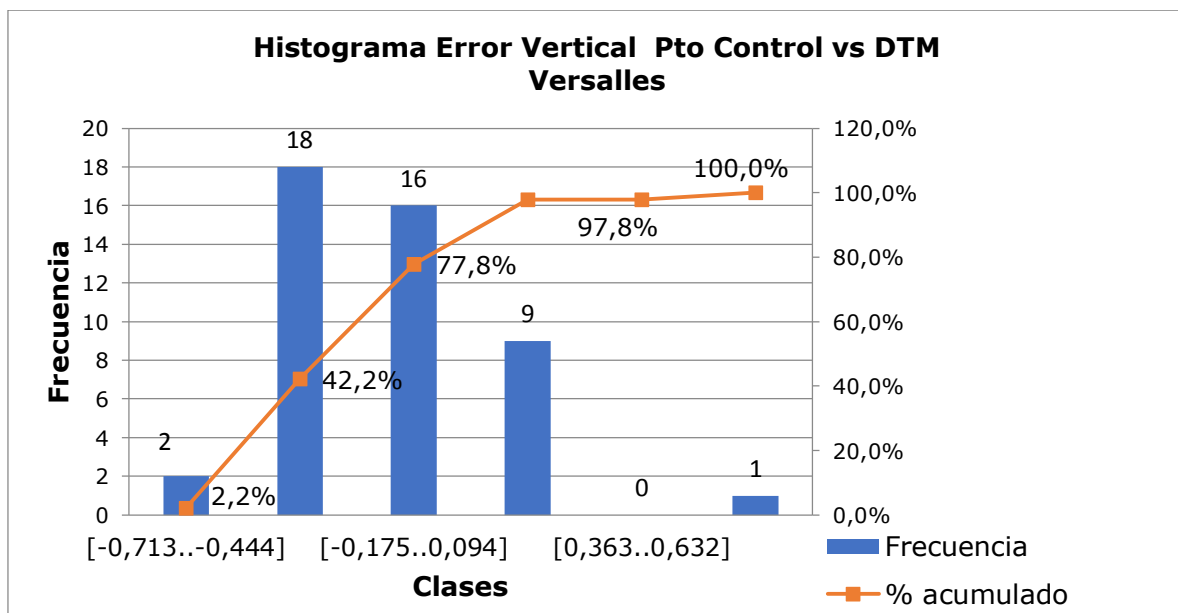


Figura 17 Distribución Normal del Error Versalles

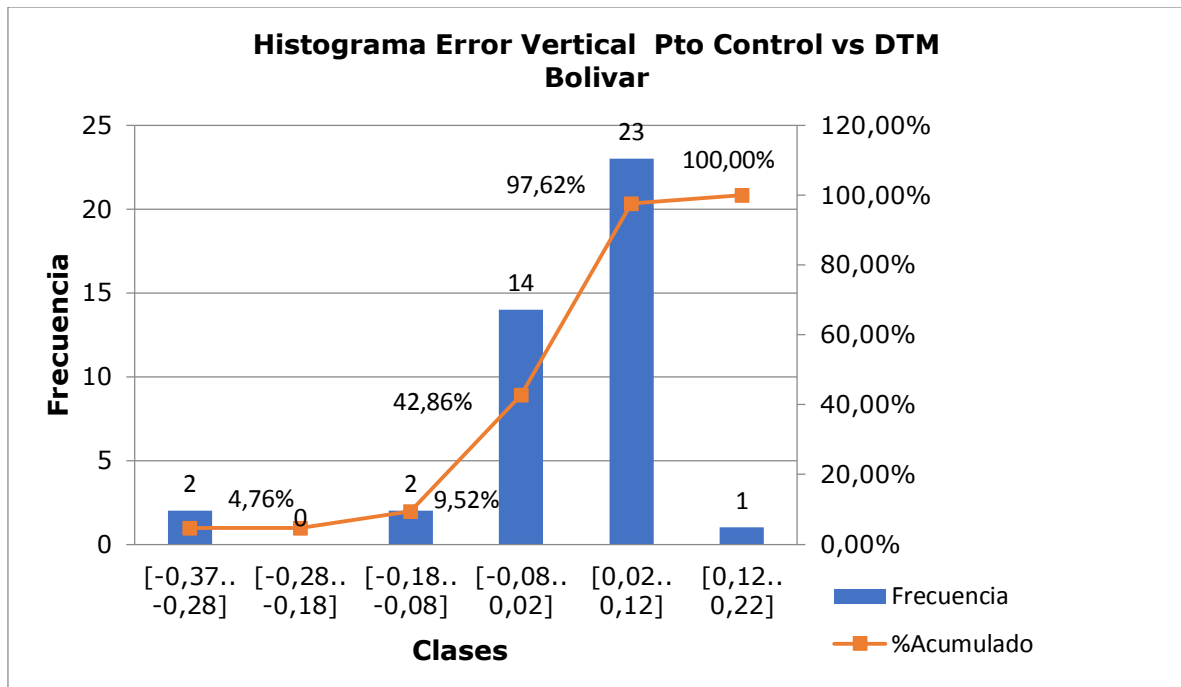


Figura 18 Distribución Normal del Error Bolívar

Corroborada la proximidad a la distribución normal de los datos se aplica el test de NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy), el cual utiliza la raíz del error medio cuadrático (RMSE, Root Mean Square Error) para reportar una precisión con el 95% de confianza.

Roldanillo

$$\text{Precisión (z)} = 1.9600 * \text{RMSE (z)}$$

$$\text{Precisión (z)} = 1,9600 * 0,216 = 0,460 \text{ m}$$

“Comprobado para 0,460 m de precisión vertical con un nivel de confianza del 95%”. Es decir que el 95% de las alturas en el conjunto de datos tendrá un error con respecto a la altura de tierra verdadera que será igual o menor a la precisión reportada.

Versalles

$$\text{Precisión (z)} = 1.9600 * \text{RMSE (z)}$$

$$\text{Precisión (z)} = 1,9600 * 0,269 = 0,527 \text{ m}$$

“Comprobado para 0,527 m de precisión vertical con un nivel de confianza del 95%”. Es decir que el 95% de las alturas en el conjunto de datos tendrá un error con respecto a la altura de tierra verdadera que será igual o menor a la precisión reportada.

Bolivar

$$\text{Precisión (z)} = 1.9600 * \text{RMSE (z)}$$

$$\text{Precisión (z)} = 1,9600 * 0,104 = 0,204 \text{ m}$$

“Comprobado para 0,204 m de precisión vertical con un nivel de confianza del 95%”. Es decir que el 95% de las alturas en el conjunto de datos tendrá un error con respecto a la altura de tierra verdadera que será igual o menor a la precisión reportada.

7.3 Batimetría

La batimetría del río Roldanillo, Zanjón de los Mudos y Quebrada el Rey se hace con el fin de complementar la información del DTM del municipio de Roldanillo y Bolívar, para ser fuente de información para los diferentes estudios, (Figura 19, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 23).

Como resultado del trabajo batimétrico se obtuvo un total de 492 perfiles



Figura 19 Topo batimetría Rio Roldanillo

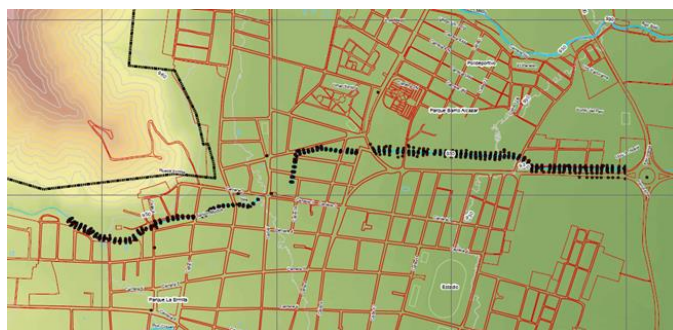


Figura 20 Topo batimetría Zanjón de los Mudos

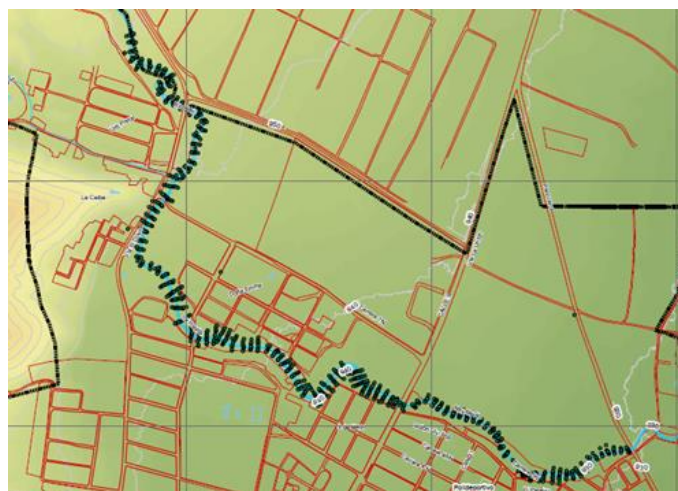


Figura 21 Topo batimetría Quebrada El Rey

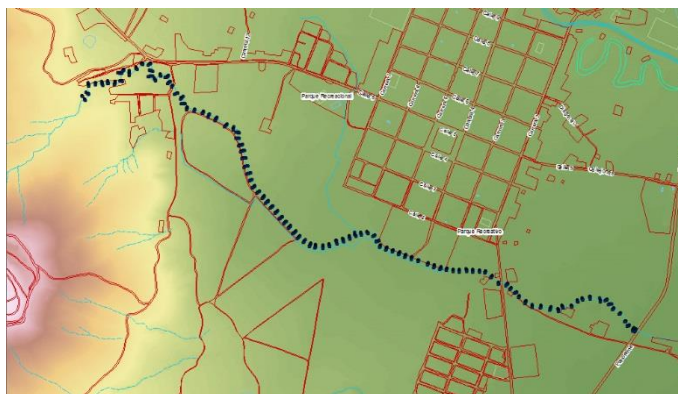


Figura 22 Topo batimetría Zanjón de la Mina

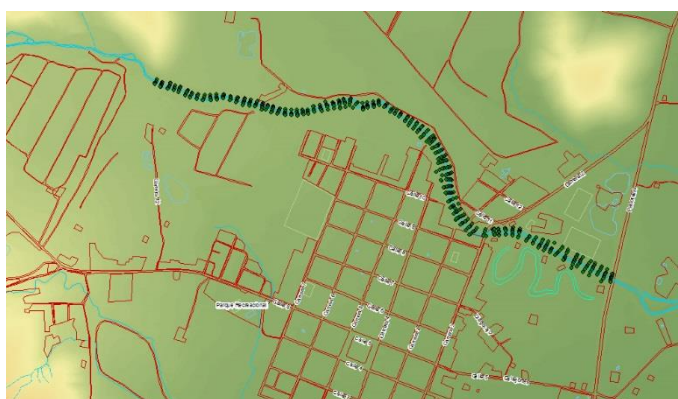


Figura 23 Topo batimetría Rio Pescador

La información batimétrica pasa por un control de calidad con el fin de detectar incongruencia, tales como cambios abruptos en el terreno que alteren el resultado de la interpolación para generación del DTM de cada cuenca. Para tal efecto se procede a generar un perfil con los puntos más bajos de cada sección. Como se muestra en la Figura 24 y Figura 25, esta sigue una tendencia que asegura la congruencia en los datos.

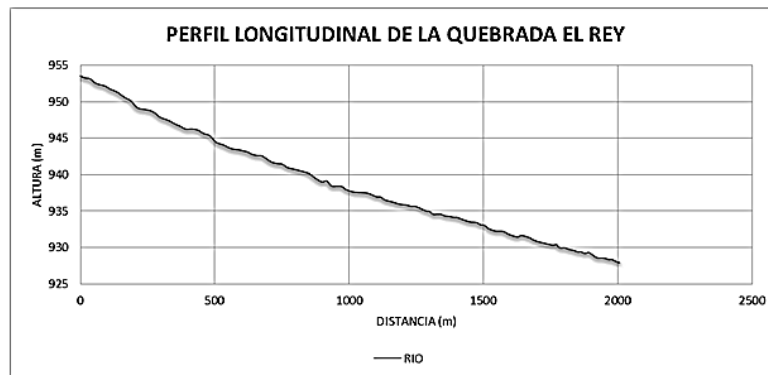
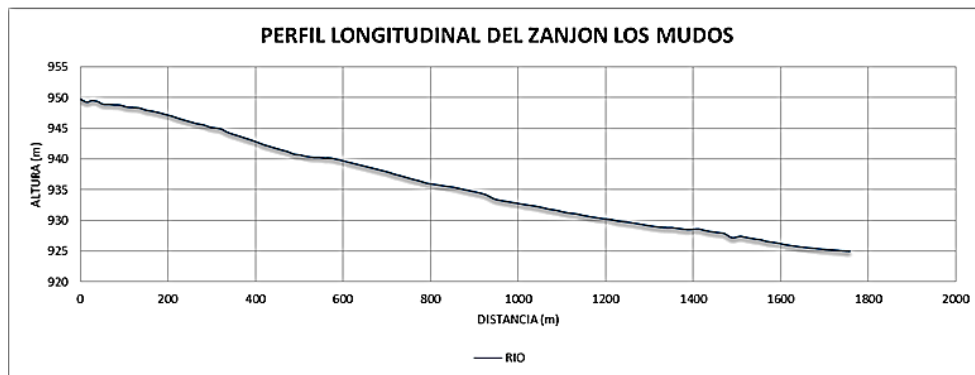
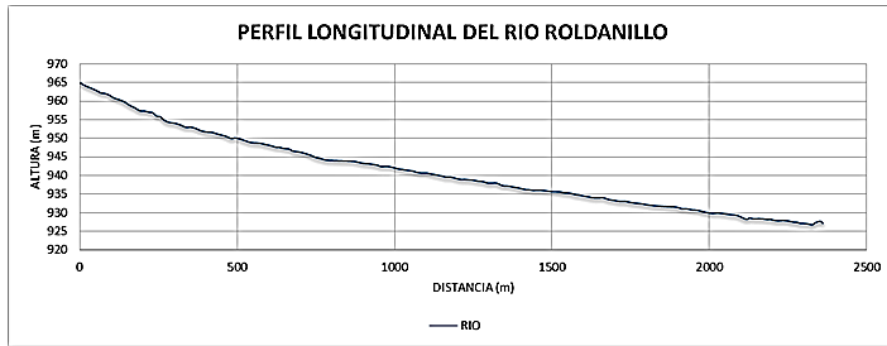


Figura 24 Perfiles Longitudinales Cauces Municipio Roldanillo

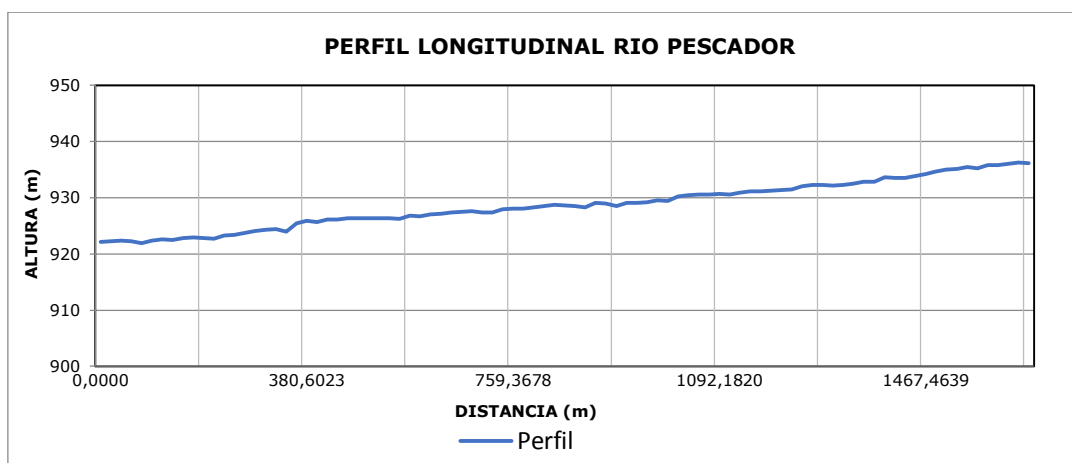
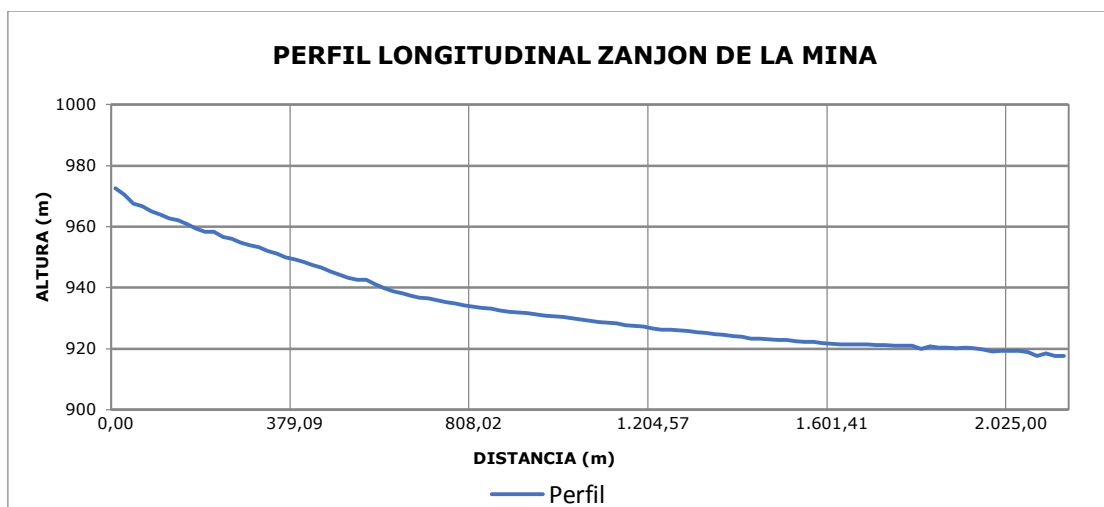


Figura 25 Perfiles Longitudinales Cauces Municipio Bolívar

Con la información obtenida se construyeron los insumos solicitados para la modelación hidráulica, consistentes en Secciones transversales, levantamiento de estructuras hidráulicas y DTM del lecho de cada cuerpo de agua integrado al DTM general del municipio en el área urbana, a la misma resolución vertical y tamaño de pixel Figura 26 y Figura 27.

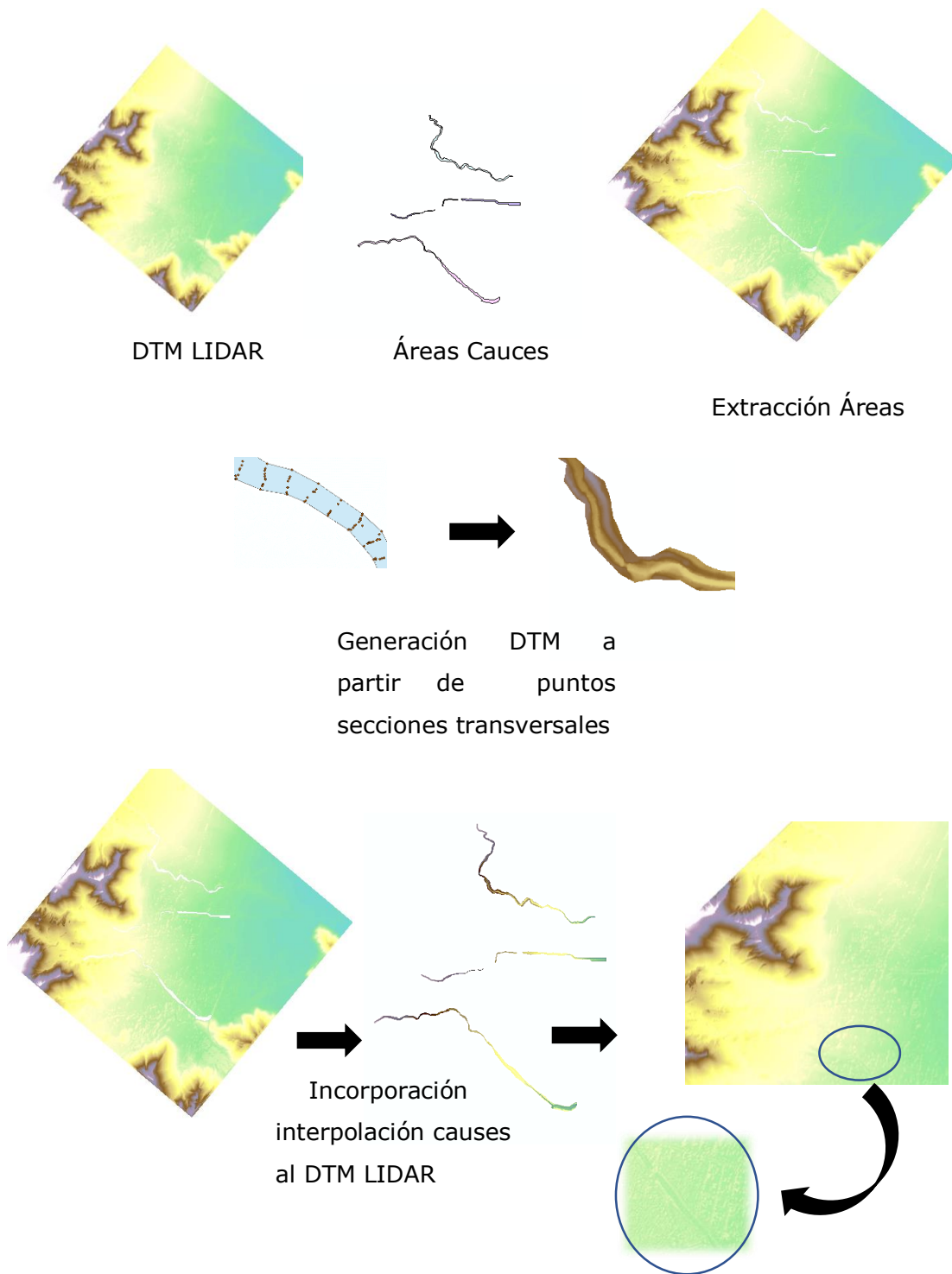


Figura 26 Generación de DTM y Producción de Batimetría Roldanillo

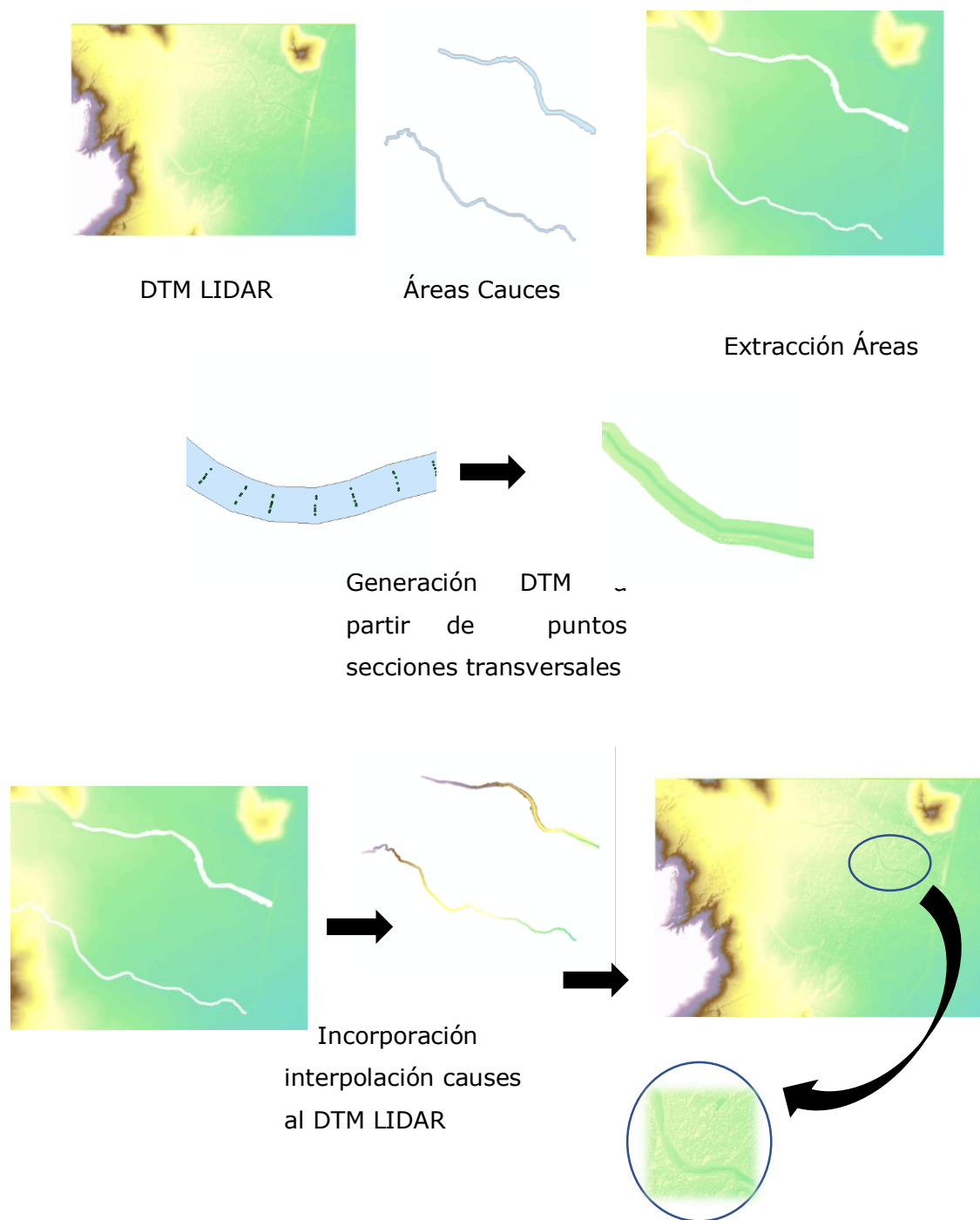


Figura 27 Generación de DTM y Producción de Batimetría Bolívar

7.4 Levantamientos Topográficos Movimientos en masas

Estos trabajos se centraron en el municipio de Versailles, dado que de los estudiados, es el único municipio que presenta problemas de movimientos en masas en dos sitios específicos; correspondientes a una subsidencia en la Calle 11 con Carrera 5(Figura 28) y movimientos en masas en la Carrera 7 con Calle 3(Figura 29), en el área donde se ubica la Cancha de futbol municipal, que presenta un deslizamiento por fallamiento.

El levantamiento topográfico se realiza por el método de poligonometría mediante procedimiento de poligonal geométricamente abierta y analíticamente cerrada, mediante Estación Total, Nikon DTM-500, partiendo de un punto de control GPS con coordenadas y línea de referencia conocida (Azimut) y llegando igualmente a un punto de control GPS de coordenadas y línea de referencia conocida. La captura de los detalles del terreno se hace por medio de radiaciones, en forma densificada a modo de nube de puntos sin seguir un patrón específico, pero acordes con la morfología del terreno, con fin de obtener una representación muy detallada de las áreas de estudio y sus cambios de forma.

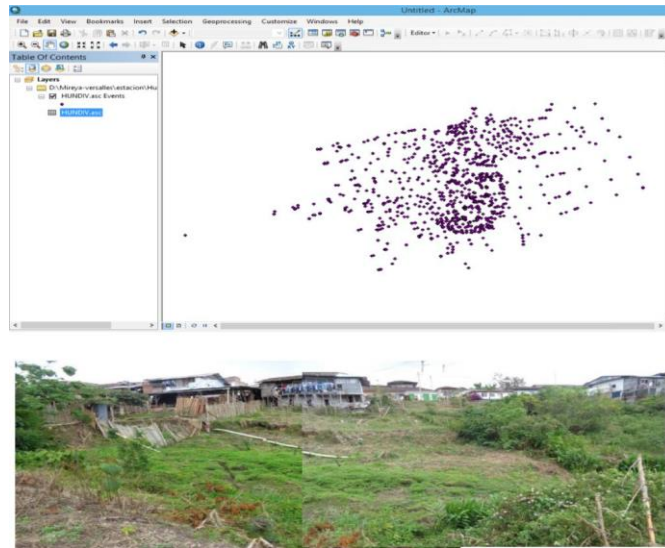


Figura 28 Subsistencia Municipio de Versalles

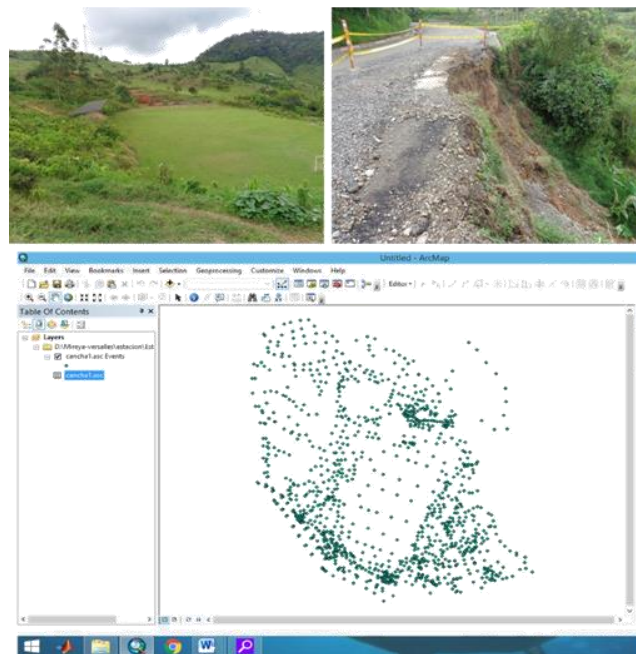


Figura 29 Deslizamiento Municipio de Versalles

Con los resultados obtenidos se efectuó la actualización del modelo de elevación digital integrando los levantamientos al DTM existente, se generaron secciones y productos que posteriormente fueron utilizados en los estudios de geología y geomorfología

8 CONCLUSIONES

Se diseñaron y aplicaron las metodologías necesarias para la de captura de datos en campo para la generación de insumos

Dado que cada proyecto tiene sus propias particularidades se deben analizar puntualmente los requerimientos con el fin de definir los procesos más adecuados para la captura de información acorde a las especificaciones exigidas

Se efectuó una caracterización de los diferentes productos de información requerida con sus respectivas especificaciones

Se diseñaron y efectuaron los procesos de captura de información para todo el proyecto logrando exitosamente los productos requeridos

9 BIBLIOGRAFÍA

Alcaldia-Bolívar. (20 de Agosto de 2018). *Alcaldía de Bolivar*. Obtenido de <http://www.bolivar-valle.gov.co/tema/municipio>

Alcaldia-Roldanillo. (20 de Agosto de 2018). *Alcaldía de Roldanillo*. Obtenido de <http://www.roldanillo-valle.gov.co/>

Alcaldia-Versalles. (20 de Agosto de 2018). *Versalles-Valle*. Obtenido de http://www.versalles-valle.gov.co/informacion_general.shtml

ATKINSON, A. (2003). ESTUDIO TEORICO PARA ELCONTROL POSICIONAL EN IMAGENES DE TELEDETECCION GEORREFERENCIADAS. *Teledetección y Desarrollo Regional. X Congreso de Teledeteccion* (págs. 117-222). Caceres, España: Universidad de Extremadura.

Casanova, M. L. (2002). *Topografía Plana*. Merida: Unversidad de los Andes.

De Smith, M. J. (2009). *Geospatial Analysis: A comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. Leicester, Inglaterra: Troubador Publishing Ltd.

Franquet, B. J. (2010). *Nivelación de terrenos por regresión tridimensional*. José María Franquet Bernis.

Gallardo, S. J. (2014). *Batimetría de Rios, Arroyos de la Comunidad Autonoma del pais Vasco*. Ingeniería Cartográfica GAROA, S.L.

Haining, R. P. (2003). *Spatial Data Analysis:Theory and Practice*. Cambridge, Reino Unido: Camersity Pressbridge Univ.

IDEAM. (2013). *Metodologia para realizar trabajos de hidrotopografia*. Bogotá.

IGAC. (2016). *Especificaciones Técnicas Cartografia Basica Digital* .

Porras, V. A. (2014). Diplomado en análisis de informacion geoespacial: Tipos de muestreo. Mexico CD, Mexico: Centro publico de información CONACYT.

SGC, S. G. (2016). *Guía Metodológica Para Estudios de Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa*. Bogotá D.C: Imprenta Nacional de Colombia.